

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

KONCEPCE VOZIDEL SXS

SXS VEHICLE CONCEPT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jakub Kylar

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Ondřej Blaťák, Ph.D.

BRNO 2020

Zadaní bakalářské práce

Ústav: Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student: **Jakub Kylar**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Ondřej Blaták, Ph.D.**
Akademický rok: 2020/21

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Koncepce vozidel SxS

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Vozidla kategorie SxS (Side by Side) je dnes nejrychleji se rozvíjející kategorií offroad vozidel (kategorií automobilového sportu). Tato vozidla v oblasti podvozku přinášejí neobvykle velký zdvih (až 600 mm na kole), což klade zvláštní požadavky na zavěšení, odpružení, tlumení apod. Jednotliví výrobci často používají dosti rozdílná technická řešení jejich náprav, ale i dalších komponent vozidel.

Cíle bakalářské práce:

Porovnat řešení náprav jednotlivých typů vozidel SxS (případně UTV).
Porovnat řešení hnacího ústrojí jednotlivých typů vozidel SxS (případně UTV).
Provést koncepční návrh vlastního vozidla kategorie SxS.

Seznam doporučené literatury:

REIMPELL, Jornsén. The Automotive Chassis. 2nd edition. Oxford: Butterworth - Heinemann, 2001. 444 s. ISBN 0-7506-5054-0.

JAN, Zdeněk, ŽDÁNSKÝ, Bronislav a ČUPERA Jiří. Automobily (1): Podvozky. Brno: Avid, spol. s r.o., 2009. 245 s. ISBN 978-80-87143-11-7.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Josef Štětina, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty



ABSTRAKT

Cílem této bakalářské práce je vytvořit vlastní koncepční návrh vozidla SxS. Práce je rozdělena do tří hlavních částí. První část se sestává z rešerše, kde jsou podrobně rozebrány jednotlivé typy náprav používaných u SxS vozidel, jejich specifika vůči běžným typům zavěšení a následně jsou porovnány konstrukční řešení hlavních výrobců. V další části rešerše jsou pak uvedeny základní typy hnacích ústrojí. Tato kapitola je rozdělena dle částí (motor, převodovka, diferenciál atd.). I zde je kapitola týkající se speciálních požadavků na tyto komponenty a také porovnání hlavních výrobců, resp. jejich řešení. V poslední části je popsán koncepční návrh vlastního vozidla SxS s použitím některých výpočtových vztahů, avšak nejedná se o konstrukční návrh a tato část slouží spíše pro představu.

KLÍČOVÁ SLOVA

Side by side, UTV, náprava, motor, převodovka, návrh, geometrie zavěšení

ABSTRACT

The aim of this bachelor thesis is to create your own conceptual design of an SxS vehicle. The work is divided into three main parts. The first part consists of a search, where the individual types of axles used in SxS vehicles, their specifics to common types of suspension are analyzed in detail and then the design solutions of major manufacturers are compared. In the next part of the research, the basic types of drive devices are listed. This chapter is divided into parts (engine, transmission, differential, etc.). Here, too, there is a chapter on special requirements for these components, as well as a comparison of major manufacturers, respectively. their solution. The last part describes the conceptual design of the SxS vehicle itself using some computational relationships, but it is not a structural design, and this part serves more for an idea.

KEYWORDS

Side by side, UTV, suspension, engine, transmission, concept, suspension geometry



BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Kylar, Jakub. Koncepce vozidel SxS. Brno, 2021. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/132281>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. 59 s. Vedoucí diplomové práce Ondřej Blaťák.



ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ondřeje Blatáka a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 21. května 2021

.....

Jméno a příjmení



PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat v první řadě vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Ondřeji Blaťákovi, Ph.D. za vstřícnost a podmětné připomínky. Dále bych chtěl poděkovat své rodině, která mě při studiu povzbuzovala a zajišťovala zázemí. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat své slečně, která mi při studiu byla velkou oporou.



OBSAH

Úvod	10
1 Úvod do problematiky SxS vozidel	10
1.1 Historie a vývoj utv/sxs vozidel.....	10
1.2 Využití SxS vozidel	11
1.3 Hlavní výrobci SxS vozidel	12
1.3.1 Arctic cat.....	12
1.3.2 Polaris	12
1.3.3 Can Am.....	13
1.3.4 Bobcat.....	14
1.3.5 John Deere	15
1.3.6 Další výrobci	16
2 Nápravy vozidel SxS/UTV	17
2.1 Geometrie náprav.....	18
2.1.1 Sbíhavost kol	18
2.1.2 Odklon	18
2.1.3 Další úhly.....	19
2.2 Zavěšení kol	19
2.2.1 Tuhá náprava	20
2.2.2 Zavěšení De-Dion.....	21
2.3 Nezávislá zavěšení	21
2.3.1 Lichoběžníková náprava.....	21
2.3.2 Náprava MacPherson.....	23
2.3.3 Kliková náprava.....	24
2.3.4 Úhlová kyvadlová náprava	25
2.3.5 Víceprvková náprava	26
2.4 Specifické požadavky na zavěšení SxS vozidel	27
2.5 Konstrukční řešení náprav vozidel SxS od hlavních výrobců	27
2.5.1 Arctic Cat.....	28
2.5.2 Polaris	28
2.5.3 Can-Am	29
3 Hnací ústrojí vozidel SxS	31
3.1 Základní popis a vlastnosti hnacích ústrojí vozidel SxS.....	31
3.1.1 Motor	31
3.1.2 Benzinový motor	31
3.1.3 Dieselový motor	32

3.1.4	Elektromotor.....	32
3.2	Převodovka	32
3.2.1	Převodovka s plynulou změnou převodového poměru – CVT	33
3.2.2	Hydrostatická automatická převodovka VHT	33
3.3	Pohon 4x4	34
3.4	Speciální požadavky na hnací ústrojí vozidel SxS	35
3.5	Konstrukční řešení hnacích ústrojí pro vozidla SxS od hlavních výrobců	35
3.5.1	Arctic Cat.....	36
3.5.2	Polaris	36
3.5.3	Can – Am.....	38
4	Koncepční návrh vozidla SxS	40
4.1	Základní rozměry a hmotnost	40
4.2	Rám vozidla	41
4.3	uložení a volba motoru	42
4.4	Dimenzování hnacího ústrojí	45
4.4.1	Valivý odpor	46
4.4.2	Aerodynamický odpor	46
4.4.3	Odpor Zrychlení	47
4.4.4	Odpor stoupání	48
4.4.5	Další odpory	49
4.5	Potřebná hnací síla	49
5	Návrh zavěšení, tlumení a odpružení vozidla SxS	50
5.1	Zavěšení předních kol	50
5.2	Zavěšení zadní nápravy	51
	Závěr	53
6	Použité informační zdroje.....	54
	Seznam použitých zkratk a symbolů.....	58

ÚVOD

Vozidla SxS jsou poměrně novým odvětvím v oblasti automobilů. Jejich vznik lze přičíst zvyšujícím se požadavkům těch uživatelů, kteří potřebovali kompaktní vozidlo, které by usnadnilo různé domácí práce a bylo dostatečně výkonné ale zároveň menších rozměrů než běžný nákladní vůz.

Cílem této práce je seznámit čtenáře s problematikou, týkající se vozů SxS, tedy jejich vznikem, vývojem a využitím.

V řešební části této práce je popsán vznik a vývoj vozidel SxS a dále jsou zde uvedeny jednotliví největší zástupci a jejich modely. V druhé části řešerše se čtenář seznámí se základními typy zavěšení kol, nejen na vozidlech SxS, popisem jejich konstrukce a s jednotlivými řešeními hlavních výrobců. V poslední části řešerše jsou popsány základní principy hnacího ústrojí, jeho rozdělení na jednotlivé komponenty a opět jsou zde uvedena řešení hlavních výrobců.

Praktická část této práce se zabývá samotným návrhem vozidla SxS, tedy výpočty základních parametrů, návrhem komponent a jejich dimenzováním a následně 3D vizualizace jednotlivých konstrukčních uzlů.

1 ÚVOD DO PROBLEMATIKY SXS VOZIDEL

1.1 HISTORIE A VÝVOJ UTV/SXS VOZIDEL

Historie vozidel SxS/UTV (side-by-side/utility terrain vehicle) sahá až do roku 1941, kdy se začal vyrábět první, sériově prodávaný terénní vůz Jeep, jež byl určen pro armádu (veřejnosti se zpřístupnily v roce 1945). Právě všestrannost, schopnost jezdit nezpevněným terénem a jednoduchý design, stály za velkým úspěchem tohoto typu vozidel [1].

Dalším evolučním stádiem off-road vozidel se staly vozidla beach buggy. Tento typ terénních vozidel postupně vznikl od 50. let 20. stoletím, kdy automobiloví nadšenci odstrojili klasické silniční vozy, nechali pouze celou šasi a vozidlo postupně přestavěli na terénní vůz tím, že namontovali na původní konstrukci tlumiče s vyšším zdvihem, karoserii zjednodušili a několika dalšími operacemi vznikla vozidla beach buggy. Beach buggy se nazývaly, protože první „buginy“ byly určeny právě pro ježdění na plážích [1].

V pořadí třetím vývojovým stupněm byly vozidla typu ATV (all-terrain vehicle). V 80. letech 20. století začaly vznikat první „čtyřkolky“. Vozidla ATV byla z hlediska konstrukčního průlomová, jelikož začaly používat odpružení, speciálně upravené právě pro ježdění off-road. Předchozí vozidla řešila lepší přilnavost „balónovými pneumatikami“, které byly vhodné svým tvarem právě pro jízdu v terénu [1].

Na konci 80. let můžeme poprvé hovořit o vozidlech UTV, jež vznikly přirozenou potřebou právě z vozidel ATV, která byla ve své podstatě pouze pro rekreační potřeby. Vzhledem k poměrně malé váze oproti běžným nákladním automobilům, jež se používaly nejčastěji na farmách, statcích apod. byla vozidla UTV mnohem kompaktnější, úspornější, a zvláště na menších hospodářstvích se velmi rychle tyto vozy uchytily [1].

1.2 VYUŽITÍ SxS VOZIDEL

Prvotní myšlenkou vzniku vozidel UTV bylo ulehčení práce. Z tohoto důvodu také dostaly vozidla svůj název – utility terrain vehicles. Slouží tedy především pro svážení menšího množství nákladu, přepravu lidí v rámci usedlosti apod [2].

Hlavní předností těchto dopravních prostředků je zejména jejich kompaktnost a možnost pohonu všech čtyř kol. V různých oblastech také nahrazují drahé nákladní vozy, které se v horším terénu mohou potýkat s obtížemi a jejich silnější motory mají horší dopad na životní prostředí. Důsledkem tohoto nahrazování vozidly SxS, které disponují menšími motory, může docházet také ke zlepšení lokálního životního prostředí. Schopnost SxS vozidel, se bez problému pohybovat v terénu, využívá mnoho odvětví. Mezi tyto obory patří např. armády, stavební společnosti, lesníci apod.

Konstrukce SxS vozidel se může lišit podle toho, v jakém odvětví ho využíváme. Některá vozidla se vyrábí s nákladním prostorem vzadu, některá s prostorem pro dvě řady cestujících a některá mají místo pouze pro jednoho a používají se především k volnočasovým aktivitám, či závodům. Rozdíl mezi užitkovým (obr. 1) a závodním (obr. 2) SxS vozidlem je vidět níže.

Výhody, jimiž SxS vozidla disponují, způsobily v poslední době velký rozmach ve výrobě těchto vozidel a následkem toho vzniklo mnoho firem, které se výrobou SxS vozidel zabývají.



Obr. 1 - Užitkové vozidlo UTV značky Polaris [4]



Obr. 2 - Závodní vozidlo SxS značky Can-Am [5]

1.3 HLAVNÍ VÝROBCI SXS VOZIDEL

1.3.1 ARCTIC CAT

Tento americký výrobce, původně vystupující pod názvem Polar Manufacturing, se nejprve specializoval pouze na vývoj a konstrukci sněžných skútrů. Později do jejich portfolia přibyl i první SxS vozidlo nesoucí název Prowler. Tato prvotina firmy Arctic Cat byla uvedena na trh v roce 2005 a s určitými modifikacemi a vylepšeními se vyrábí dodnes. Souběžně s tím ale vyrábí i další modely, které nabízí ve čtyř či šestimístných variantách [3].

Firma Arctic Cat patří dnes mezi nejvýznamnější výrobce SxS vozidel na světě. Její produkty se vyznačují vysokou kvalitou zpracování, dobrými a výkonnými motory [3].

Mezi nejvýznamnější modely této společnosti patří sportovní vozidlo SxS Wildcat XX, nabízené ve 2WD (pohon dvou kol) nebo 4WD (pohon čtyř kol) variantě. Disponuje tříválcovým motorem o výkonu 97 kW, což je aktuálně nejsilnější vyráběné SxS vozidlo. Přední odpružení zajišťuje dvojité lichoběžníkové náprava, která má zdvih 45,7 cm a na zadní nápravě slouží k odpružení náprava kliková o stejném zdvihu [6].



Obr. 3 – Závodní SxS vozidlo Arctic Cat Wildcat XX [6]

1.3.2 POLARIS

Původní specializací společnosti Polaris byly, stejně jako v případě firmy Arctic Cat, také sněžné skútry. S prvním modelem sněžného skútru firma úspěšná nebyla. S nástupem druhého, se však tato situace změnila a sněžný skútr Polaris Sno Traveler v roce 1965 byl pro firmu Polaris průlomovým [3]. První SxS vozidla začala firma Polaris vyrábět v roce 2010 a jejich produkty se prodávají po celém světě. Polaris také začala, jako jedna z prvních firem, vyvíjet SxS vozidla s elektrickým pohonem [3].

Mezi modely, jimiž tato firma disponuje, bych rád zmínil Polaris Ranger EV, jehož pohání elektromotor o výkonu 22,4 kW [5]. Ranger EV je k dispozici pro dvě osoby a uveze cca 453,6 kg [7]. Zadní zavěšení je zde zvoleno MacPherson o zdvihu 22,9 cm. Zavěšení předních kol je zde zajištěno pomocí dvojitého lichoběžníkového zavěšení o zdvihu 25,4 cm [7].



Obr. 4 – Polaris Ranger EV [7]

1.3.3 CAN AM

Kanadská firma Can Am, spadající pod společnost Bombardier Recreational Products [6], se specializuje zejména na vozidla typu SxS a ATV. Původně, se ale tato firma, založena v roce 1972 soustředila pouze na výrobu off-road motorek [3]. V roce 1998 Can Am vstoupil na trh s vozidly typu ATV a to s modelem Traxter. V roce 2010 firma představila první SxS vozidlo Commander. O rok později se tento model nabízel v šesti variantách se dvěma různými motorizacemi [8].

V roce 2013 firma Can Am oznámila vznik řady Can-Am Maverick. Právě tento model (konkrétně Can-Am Maverick 1000R) zajistil vstup této značky na závodní scénu, kde konkuroval vozům značek Polaris či Arctic Cat [8].

Ačkoli byl Can-Am na poli závodění dosud prakticky bez zkušeností, disponoval v té době nejsilnějším vozem s motorem o výkonu 75,3 kW. Rok 2014 byl pro tuto značku dalším milníkem, jelikož jako první, představila motor s vlastním turbodmychadlem. Tento motor se implementoval do vozu Maverick X ds Turbo a jeho výkon činí 90,2 kW [8].

Jako zástupce této firmy jsem zvolil model Can-Am maverick X3, jenž disponuje tříválcovým motorem o výkonu 145,5 kW [7]. Přední náprava je klasicky lichoběžníková (Firemní úprava na Arched – Arms) se zdvihem až 61 cm. Na zadní nápravě k odpružení slouží torzní kliková náprava [8].



Obr.5 - Can-Am Maverick X3 Turbo RR [9]

1.3.4 BOBCAT

Firma Bobcat byla založena v roce 1947 bratry Kellerovými. Tato společnost, mezi jejíž hlavní produkty patří bagry menší velikosti, má ve svém portfoliu i malé množství vozidel SxS. Až do roku 2007 patřila pod skupinu Ingersoll – Rand, avšak téhož roku ji koupila společnost Doosan. Ředitelství, vývojové centrum a výroba pro oblast EMEA (Europe, Middle East, Africa) je nyní v České republice ve městě Dobříš [11].

Ve skutečnosti firma Bobcat tyto vozy nevyvíjí, ale přeprořádá nakoupené kusy od menších firem, které by se jinak na trh dostaly v mnohem menším počtu. Společnosti slouží jako doplněk k jejím bagrům, které se používají především na stavbách, zemědělských usedlostech, popř. při pracích a zahradách.

Firma Bobcat prodává pouze užitková vozidla SxS. Mezi nimi bych rád konkrétně zmínil model 3650, které se liší od ostatních tím, že zde konstruktéři umožnili na přední nárazník připevnit různá příslušenství, jako např. lžici, sekačku etc. Tyto tzv. „Attachmenty“ (z angl. attachments – příslušenství) si již Bobcat vyvíjí sám, a to zde v České republice. Pohon tohoto vozidla zajišťuje čtyřtákní naftový motor o výkonu 17,9 kW [1]. Zavěšení předních kol je zde zajištěno pomocí dvojité lichoběžníkové nápravy a typu De-Dion kolech zadních [12] [13].



Obr. 6 - SxS vozidlo Bobcat 3650 [14]

1.3.5 JOHN DEERE

Další americká firma, jejíž výroba je zaměřená primárně na vývoj a výrobu užitkových vozidel pro zemědělství, zvláště pak traktorů, vyrábí také vozidla typu SxS, a to především z toho důvodu, že mezi americkými zemědělci jsou tato vozidla velmi populární a trh s vozidly SxS představuje pro firmy obrovský potenciál [3].

John Deere, stejně jako Bobcat, má ve svém portfoliu pouze čtyři druhy těchto vozidel [3], ale i přes malý výběr má právě tato firma mezi koncovými uživateli (zejména farmáři) enormní zastoupení. Toto můžeme přisoudit právě prodeji jejich hlavního produktu, jímž jsou traktory, a tak se posléze i vozy SxS dostaly do povědomí těchto zákazníků právě díky nim.

Jako zástupce této firmy bych zde rád uvedl model XUV865R, který pohání čtyřtákní diesellový motor o výkonu 17 kW. U tohoto modelu je zavěšení řešeno zcela nezávislým systémem typu dvojitém lichoběžníkovým zavěšením na obou nápravách, kde zdvih na přední nápravě je 20,1 cm a na zadní 23,1 cm [15].



Obr. 7 - Model XUV865R firmy John Deere [15]

1.3.6 DALŠÍ VÝROBCI

Výše zmínění výrobci jsou pouze největšími zástupci v oblasti vývoje a výroby vozidel SxS, avšak výrobců těchto vozidel je mnoho, a proto bych zde rád uvedl alespoň stručný přehled.

Výrobce	Model	Typ zavěšení	Typ motoru
Honda	Talon 1000X	Dvojitě lichoběžníkové se zdvihem 37 cm na přední nápravě Klikové se třemi rameny o zdvihu 38,4 cm na zadní nápravě	Atmosférický, o objemu 999 cc s dvojitým válcem
Yamaha	YXZ1000R SS XT-R	Rovnoběžníková náprava se zdvihem 41,2 cm vpředu i vzadu, kde disponuje zdvihem 43,2 cm	Kapalinou chlazený, tříválcový o objemu 998 cc
Bennche	X2 1000	Nezávislé lichoběžníkové zavěšení na obou nápravách	Kapalinou chlazený, čtyřtakt, o objemu 976 cc
Kawasaki	Terryx KRX 1000 eS	Rovnoběžníková náprava se zdvihem 47,2 cm vzadu Čtyřramenná kliková náprava se zdvihem 53 cm vpředu	Kapalinou chlazený, čtyřtakt o objemu 999 cc

Tab. 1 – Přehled dalších výrobců vozidel SxS [16] [17] [18] [19]

2 NÁPRAVY VOZIDEL SXS/UTV

Vozidla SxS se často používají především v terénu a mimo zpevněné cesty, ať už se jedná o rekreační, závodní či užitkové ježdění, což klade speciální požadavky mj. právě na nápravy těchto vozidel, a proto se jimi budu v následující kapitole podrobně zabývat.

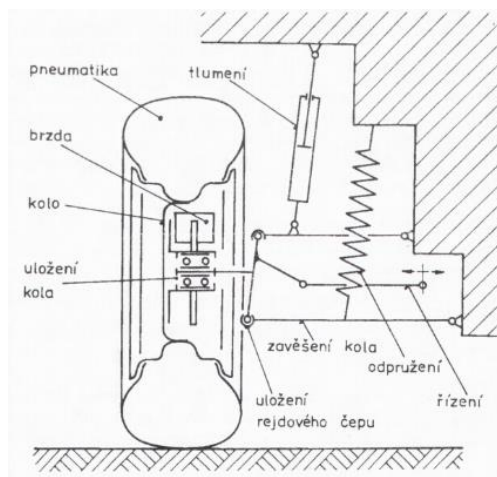
Ke správnému zorientování v této problematice a jejímu pochopení budu v následujících kapitolách popisovat jednotlivé konstrukce náprav poměrně obecně a následně se budu věnovat použití a úpravě těchto náprav pro účely vozidel SxS.

Právě náprava vozidla je pro jízdní vlastnosti vozidla velmi podstatnou, avšak uživatelé často zanedbávanou součástí. Nápravou rozumíme součást vozidla, díky které jsou levá a pravá kola připojena k nosné konstrukci. Je složena z dílčích částí (zavěšení kol, odpružení, kola atd.), jejichž popis a znázornění můžeme vidět na obrázku č.8. Tato konstrukce slouží k přenášení váhy vozidla a nákladu na kola a také sil, které působí od vozovky na vozidlo [20].

Vzhledem k zadání problematice náprav vozidel SxS se budu v této práci zabývat nikoli celou nápravou, ale prvky, na které jsou kladeny v kategorii SxS vozidel speciální požadavky. Těmito prvky bude zejména zavěšení a odpružení. Další části náprav, jako jsou samotná kola, brzdy, eventuelně řízení, nebudu zvláště rozepisovat, jelikož požadavky na tyto části kladené se neliší nijak zvlášť od běžných typů vozidel.

Nápravy můžeme rozdělit třemi následujícími způsoby, a to podle způsobu přenosu kroutícího momentu M_k nebo podle typu konstrukce.

- 1) Dle typu konstrukce
 - a. Závislá zavěšení
 - b. Nezávislá zavěšení
- 2) Dle způsobu přenosu kroutícího momentu M_k
 - a. Hnací
 - b. Hnané
- 3) Dle vztahu k řízení vozidla
 - a. řejdovaná
 - b. řídící



Obr. 8 - Schématické zobrazení částí podvozku [21]

2.1 GEOMETRIE NÁPRAV

Pro dostatečné porozumění problematiky, týkající se náprav je důležité nejprve vymezit několik pojmů, které jsou pro správné nastavení vozidla klíčové.

Obecně pojem geometrie kol zahrnuje soubor úhlů, které nastavují kolo a jeho polohu vůči vozovce. Soubor těchto úhlů má zásadní vliv na vlastnosti vozu při pohybu v přímém směru, stabilitu vozu zejména v zatáčkách, valivé odpory a s tím spojenou i spotřebu paliva [24].

2.1.1 SBÍHAVOST KOL

Prvním z těchto úhlů je sbíhavost. Měří se ve výšce osy kol, od ráfků na vnitřní či vnější straně a měřenou veličinou je úhel, nebo rozdíl délek.

Ideálním stavem je, pokud je sbíhavost vozu nulová. Při tomto stavu nedochází k tak velkému opotřebení pneumatik, směrová stabilita vozu je na dobré úrovni a vůz je snazší řídit. Naproti tomu sbíhavost, kdy kola směřují do jednoho bodu před vozem a rozbíhavost, kdy míří kola do bodu za vozem, zhoršují jízdní vlastnosti např. tím způsobem, že při průjezdu nerovností mají kola tendenci zatáčet [24].

2.1.2 ODKLON

Dalším z úhlů, určující geometrii nápravy je odklon. Ten charakterizuje naklonění kola ve vertikálním směru, pokud se na vozidlo díváme zepředu nebo zezadu. Naklání – li se horní část kola k podvozku, hovoříme o negativním odklonu, pokud se ovšem horní část od podvozku odklání, pak hovoříme o pozitivním odklonu.

Zde není tak jednoznačné určit, co je ideálním stavem, jelikož pro některé situace, jako je např. průjezd zatáčkou se hodí odklon, ale pouze pro vnitřní kola. Pro vnější to je zase příklon. Tato nejednoznačnost je dána vlivem odstředivých sil, které při průjezdu zatáčkou působí. Nulový odklon je pak ideální pro zrychlování v přímém směru, takže je zde pak vhodné volit tento úhel tak, aby nastal kompromis mezi jednotlivými situacemi [24].

2.1.3 DALŠÍ ÚHLÝ

Dalšími úhly, které určují geometrii vozu, jsou závlek a záklon rejdové osy, což je vzdálenost mezi průsečíky svislé osy kola s vozovkou a osy rejdového čepu s vozovkou při pohledu z boku [24].

Dalšími úhly jsou pak ještě poloměr rejdu a příklon rejdové osy, které ale nejsou z hlediska řešení této práce tak podstatné, a proto nebudou dále rozebrány.

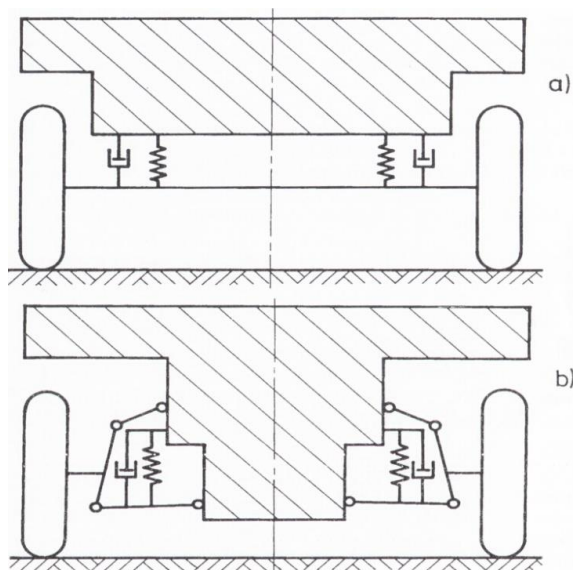
2.2 ZAVĚŠENÍ KOL

Zavěšení kola je způsob, jímž jsou připevněna kola k rámu (karoserii vozidla) [20]. Je to část podvozku, která má zásadní vliv na jízdní vlastnosti vozidla a podle způsobu použití volíme daný typ zavěšení.

Zavěšení kol umožňuje svislý pohyb kola vůči rámu, přenos sil a momentů mezi koly a rámem vozidla. Z tohoto důvodu jsou na zavěšení vznášeny požadavky, mezi které patří vysoká tuhost, odolnost v nepříznivém prostředí (zvláště pak u vozidel SxS, které se pohybují především mimo zpevněné komunikace) a odolnost závěsné konstrukce vůči rázům [20].

Způsob zavěšení kol můžeme rozdělit do dvou skupin, a to dle typu připojení k rámu na:

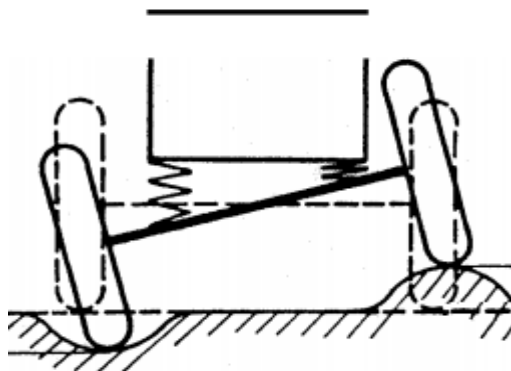
- a) Tuhé nápravy
- b) Nezávislé nápravy



Obr. 9 - Schématické zobrazení a) tuhé nápravy b) nezávislého zavěšení [21]

2.2.1 TUHÁ NÁPRAVA

Prvním zástupcem závislého zavěšení je tuhá náprava, která je zároveň nejstarším druhem spojení levého a pravého kola. Tento typ zavěšení spočívá ve spojení obou kol pevným nosníkem – nápravnicí, díky které pohyb jednoho kola ovlivňuje to druhé [22].



Obr. 10 - Schématické znázornění tuhé nápravy při průjezdu nerovnostmi [21]

Z důvodu závislosti obou kol v důsledku spojení pevným nosníkem, tvoří celá sestava (kolo + nosník + kolo) jedno kinematicky závislé těleso.

Odpružení u tuhých náprav zajišťují eliptické listové či klasické vinuté pružiny. Listové pružiny však dostatečně netlumí rázy, a proto jsou k lepšímu odpružení vozidla přidány hydraulické tlumiče.

Hlavní výhodu tuhých náprav můžeme pozorovat právě u jízdy přes velké nerovnosti, kdy se hnací hřídel kýve společně s celou nápravou. Díky tomu nemůže dojít k prasknutí a celá konstrukce tedy není náchylná k lomu, což neplatí u nezávislých zavěšení, kdy se hnací hřídel nenaklání s nápravou a při velkých výchylkách naklopení poloosy, může dojít k prasknutí kloubu, který spojuje poloosu a hnací hřídel.

Hlavní nevýhodou tuhých náprav je právě vzájemná závislost obou kol, a proto se již tento typ nápravy prakticky nevyužívá, kromě některých typů off-road či nákladních vozidel [22].



Obr. 11 - Použití tuhé nápravy u off-road vozidla [50]

2.2.2 ZAVĚŠENÍ DE-DION

Další možnou konstrukcí tuhé nápravy je zavěšení De-Dion. Tento typ nápravy kombinuje vlastnosti nezávislého zavěšení a tuhé nápravy. Platí zde, že jsou kola spojena pomocí pevné nápravnice, ale rozvodovka (převodová skříň, která rozděluje točivý moment hnací hřídele na kola, resp. hřídele na těchto kolech upevněné. – součástí rozvodovky je i diferenciál) je připevněná přímo k rámu – je tedy součástí odpružených hmot – části vozidla nad odpružením [21].

2.3 NEZÁVISLÁ ZAVĚŠENÍ

Vyšší nároky na jízdní vlastnosti vozidel se v průběhu let stále zvyšovaly, a proto se tuhé nápravy začaly postupně nahrazovat nezávislými systémy zavěšení, kterých se vyrábí několik druhů.

Hlavními výhodami nezávislých zavěšení na rozdíl od těch závislých hlavně nižší hmotnost, a právě možnost pohybu levého i pravého kola bez toho, aniž by se navzájem svým pohybem ovlivňovala. Díky těmto vlastnostem se vozidla s tímto typem zavěšení vyznačují lepší přilnavostí, zvláště pak na nerovných, či nebezpečných komunikacích [22].

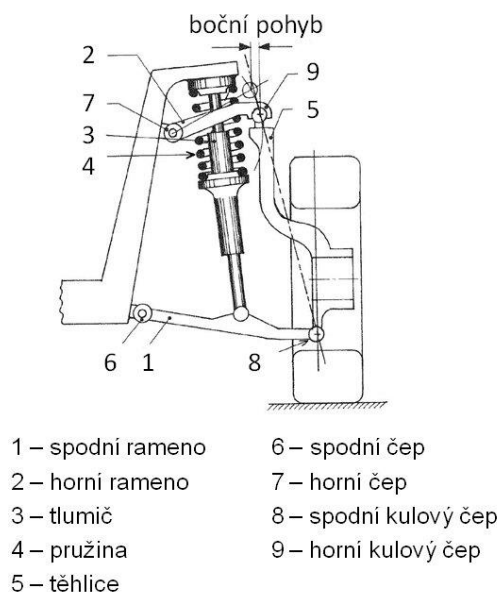
Nezávislá zavěšení dělíme dle umístění na vozidle a to následovně:

- 1) Přední nápravy
 - a. Lichoběžníková náprava
 - b. Náprava typu MacPherson
- 2) Zadní nápravy
 - a. Kliková náprava
 - b. Torzní kliková náprava
 - c. Kyvadlová úhlová náprava
- 3) Přední i zadní náprava
 - a. Náprava typu Multilink

2.3.1 LICHOBĚŽNÍKOVÁ NÁPRAVA

Tento druh zavěšení, který se používá zejména na předních nápravách, se skládá ze dvou nestejně dlouhých trojúhelníkových ramen, jež jsou v základní (nezatížené) poloze vzájemně rovnoběžné. Každé ze dvou ramen má celkem tři body uchycení, z nichž dva jsou vnitřní čepy, které uchycují ramena k rámu a jeden kulový čep, díky němuž je spojeno rameno s příčným čepem. Tato konstrukce umožňuje kolu se pohybovat relativně nezávisle na pohybu rámu [23].

Nejvíce zatíženým prvkem u lichoběžníkové nápravy je dolní rameno, které tak bývá robustnější konstrukce. S přenosem sil z vozovky na vozidlo a opačně mu pomáhá tlumič, jenž je umístěn uvnitř pružící jednotky, která je uchycena přímo k rámu. Uchycení tlumiče s pružící jednotkou lze provést ke spodnímu či hornímu rameni [23].



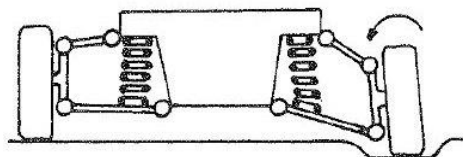
Obr. 12 – Přední pohled na konstrukci lichoběžníkové nápravy [23]

Důležitým faktorem, který významně ovlivňuje jízdní vlastnosti je délka lichoběžníkových ramen. V praxi se můžeme setkat se dvěma řešeními, a to náprava se stejně dlouhými rameny, nebo s kratším horním ramenem.

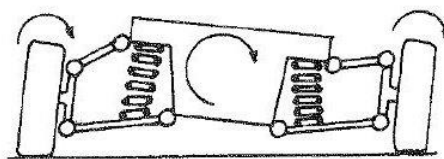
U stejně dlouhých, rovnoběžných ramen svírají kola s vozovkou stále stejný úhel – nemění se tedy jejich odklon, zatímco rozchod kol se mění, což má za následek rychlejší opotřebení pneumatiky kvůli jejímu smýkání. Tato skutečnost dala vzniknout konstrukci, kde horní rameno je kratší než to dolní, což se při průjezdu nerovností projevuje mírnou změnou odklonu, což vede ke zlepšení stability vozidla [23].

Velkou výhodou tohoto zavěšení je možno dobře vidět na obrázku č. 13, kde je znázorněn průjezd vozidla nerovností. Na nerovnost (v ideálním případě) reaguje pouze to kolo, které projíždí konkrétní nerovností, zatímco zbytek vozidla se pohybuje stále stejně.

Na obrázku č. 14 pozorujeme průjezd vozidla, s lichoběžníkovým zavěšením, zatáčkou, kde se zavěšení přizpůsobuje tvaru vozovky a natáčí kola ve stejném směru, což posiluje stabilitu právě během průjezdu zatáčkou.



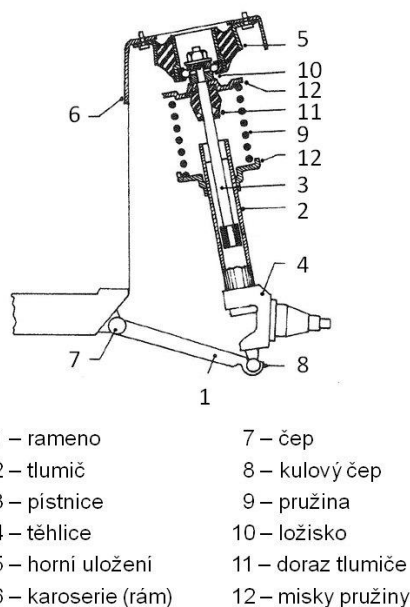
Obr. 13 – Průjezd vozidla, s lichoběžníkovou nápravou, nerovností [23]



Obr. 14 – Průjezd vozidla, s lichoběžníkovou nápravou, zatáčkou [23]

2.3.2 NÁPRAVA MACPHERSON

Tento typ nápravy vychází konstrukčně z lichoběžníkové nápravy, avšak je zde horní rameno nahrazeno svisle uloženým tlumičem, který je k rámu uchycen skrze přišroubované gumové pouzdro. V dolní části je spojen pevně s ramenem. Vzhledem ke skutečnosti, že veškeré zatížení je zde absorbováno tlumičem, musí být jeho horní část (pístnice) konstruována mnohem masivněji.

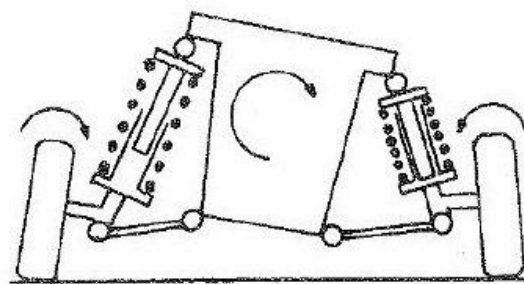


Obr. 15 – Přední pohled na konstrukci nápravy MacPherson [23]

Výhodou této nápravy je prostor, který je uspořen díky absenci horního ramena a také tomu, že svislá vzpěra je zde nahrazena právě tlumičem s pružinou, takže se velmi hodí a také často používá jako přední náprava, jelikož je zde místo pro řídicí prvky.

Konstrukce spodního ramena se zpravidla dělá co nejdelší z toho důvodu, aby docházelo k co nejmenším výchylkám odklonu a také sbíhavosti, což je jev, kdy dochází k odchýlení kol k sobě nebo od sebe od směru jízdy. Tento jev má za důsledek vyšší opotřebení pneumatik, vliv na řízení a stabilitu vozidla [22].

Při průjezdu nerovnostmi se MacPherson chová prakticky stejně jako lichoběžníková náprava, avšak liší se to při průjezdu zatáčkou, kdy kola mají tendenci se naklánět k sobě (viz. obrázek č. 16), což je dáno právě absencí horního ramena.

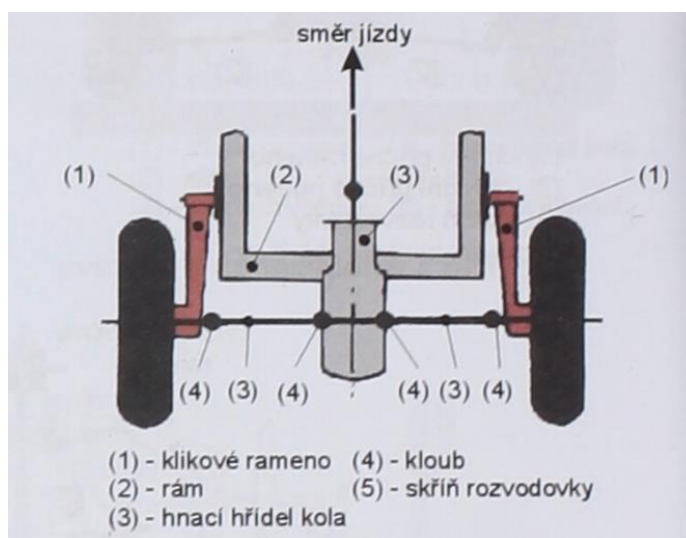


Obr. 16 – Průjezd vozidla s nápravou MacPherson, zatáčkou [23]

2.3.3 KLIKOVÁ NÁPRAVA

Tento druh nápravy (angl. Trailing arm) se používá zpravidla jako zadní hnaná, stejně jako náprava kyvadlová, (s níž má společný základ) ale je možno ji použít i jako zadní hnací. Tvoří ji podélné rameno, které má příčnou osu kývání (tato osa je kolmá k vodorovné rovině vozidla). K uložení ramen slouží převážně pryžová ložiska. Ke změně odklonu dochází pouze naklápěním karoserie [25].

Svislé síly je možno minimalizovat umístěním pružin co nejbližší nad stopu pneumatiky, čímž také zamezíme přílišnému namáhání ložisek. Pro co největší eliminaci vodorovných sil můžeme zvolit trojúhelníkovou konstrukci ramen [25].

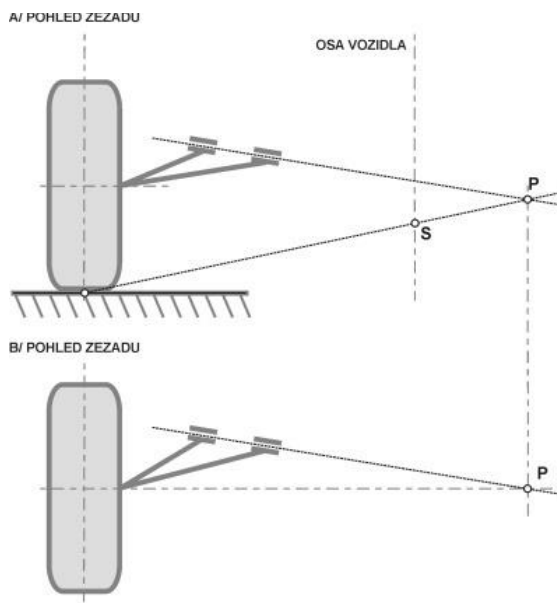


Obr. 17 – Kliková náprava [21]

Výhodou klikové nápravy je její jednoduchost a tím i snadná montáž, demontáž a malé požadavky na prostor. Nedochází zde ani k velkým odchylkám odklonu, nebo rozchodu kol. Nevýhodou ovšem je její omezená nosnost z důvodu velkého namáhání, k čemuž u SxS vozidel dochází, a proto se tento druh nápravy v tomto odvětví téměř nevyužívá. [21].

2.3.4 ÚHLOVÁ KYVADLOVÁ NÁPRAVA

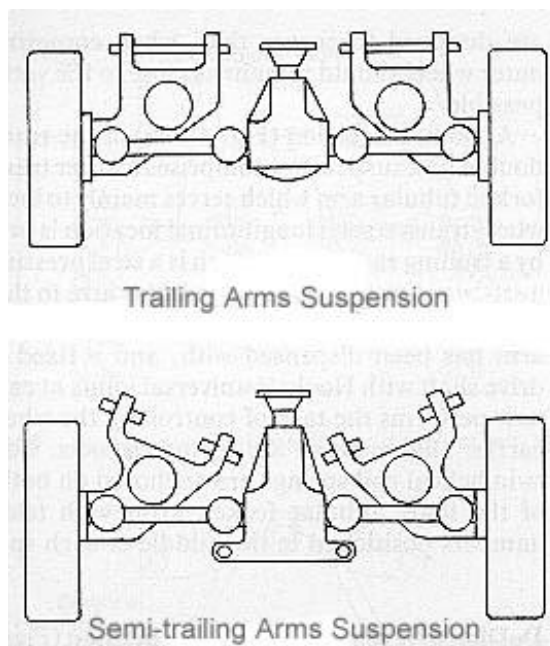
Kyvadlová náprava (angl. Semi-trailing arm), vychází konstrukčně z klikové nápravy. Používá se pouze jako zadní náprava spočívá v uchycení kola pomocí trojúhelníkového ramene. Toto rameno je připojeno k rámu skrze pryžové bloky, které snižují vliv působících sil od vozovky na vozidlo [26].



Obr. 18 – geometrické schéma kyvadlové úhlové nápravy [26]

Rozdíl mezi klikovou a kyvadlovou nápravou je v ose kypání. U klikové nápravy je osa rotace při pohledu zepředu vodorovně rovnoběžná s osou kypání celého vozidla, zatímco u kyvadlové úhlové nápravy je tato osa při stejném pohledu, šikmá [27].

Během propružení ale dochází u této nápravy k větším výchylkám rozchodu a odklonu, což má opět negativní vliv na jízdní vlastnosti zvláště při průjezdu zatáčkami a na opotřebení pneumatik. Částečně eliminovat tyto nežádoucí jevy lze zajistit pomocí vyrovnávání délky hnací hřídele [26].



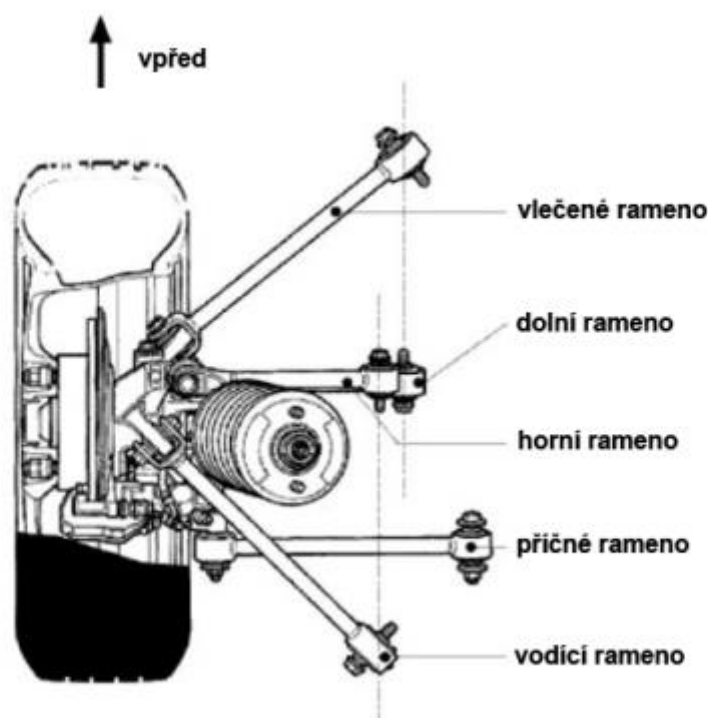
Obr. 19 – Rozdíl mezi klikovou nápravou (nahore) a kyvadlovou úhlovou nápravou (dole) [28]

2.3.5 VÍCEPRVKOVÁ NÁPRAVA

Víceprvkové nápravy (Nápravy typu Multilink) jsou konstrukčně nejsložitější a často nejdražší typy náprav, avšak mají také nejlepší jízdní vlastnosti. Princip této nápravy spočívá v zavěšení kola na více (maximálně pěti) ramenech, které mohou být buď jednoduché tyče, či trojúhelníková ramena. Tento mechanismus je schopen zajistit optimální jízdní vlastnosti a může být na přední i na zadní nápravě. Právě konstrukční složitost a výborné jízdní vlastnosti se odrážejí na ceně [28].

Pro úplný popis konstrukce tohoto typu nápravy použijeme pětiprvkovou nápravu, kde se vyskytují všechna ramena. Kolo je k rámu připevněno pomocí šesti bodů, kde na pěti místech jsou to právě ramena a na jednom je to pružina s tlumičem (viz obrázek č.20), které ovšem mohou být i odděleně. Zde také platí, že čím vyšší počet ramen (běžně max. 5), tím vyšší přesnost ve vedení kola – téměř žádné výchylky odklonu a rozchodu kol během propružení, či při průjezdu zatáčkou [22].

Právě množství na sobě nezávislých ramen umožňuje oddělit působící síly na podélné a příčné, což se významně projeví na jízdních vlastnostech vozidla. Obecně je víceprvková náprava v příčném směru velmi tuhá, díky čemuž dochází ke zlepšení stability při průjezdu zatáčkou. O eliminaci svislých sil se stará tlumič s pružinou [53].



Obr. 20 – Pohled shora na pětivrčkovou nápravu [53]

2.4 SPECIFICKÉ POŽADAVKY NA ZAVĚŠENÍ SxS VOZIDEL

Právě zavěšení u vozidel SxS, je z hlediska jednotlivých konstrukčních řešení, poměrně náročná věc, a to kvůli požadavkům, které jsou před výrobce těchto vozidel kladeny.

Prvním z nich je netradičně velký zdvih, který se v maximálních hodnotách pohybuje okolo 60 cm. Pro srovnání: u běžných automobilů je to kolem 20 cm. Právě při takovém zdvihu se mohou výrazněji projevit některé nežádoucí geometrické charakteristiky, které by se jinak daly zanedbat. Jedná se například o rozchod, kdy při propružení dochází k jeho velkým výchylkám od nezátíženého stavu. S tím souvisí i mnohem větší síly, které působí na dlouhých ramenech a je potřeba toto do následného návrhu započítat.

2.5 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ NÁPRAV VOZIDEL SxS OD HLAVNÍCH VÝROBCŮ

V předchozí kapitole byly uvedeny základní typy zavěšení kol, která se běžně používají ve vozidlech všech druhů, typu SxS nevyjímaje. V následující kapitole bude proto rozvedeno více dopodrobna řešení hlavních výrobců (Arctic Cat, Polaris, Can-Am), jež adaptuje vozidlo na podmínky, ve kterých se SxS vozidla pohybují nejvíce – v terénu.

Na předních nápravách se obecně nejčastěji používají lichoběžníkové nápravy. Jsou poměrně jednoduché na údržbu a jsou také snadno nastavitelné.

K odlišnostem dochází zejména na nápravách zadních, kde se používají různé typy zavěšení, a to hlavně podle využití.

2.5.1 ARCTIC CAT

Firma Arctic Cat disponuje celkem šesti modely vozidel SxS, z nichž pouze model Wildcat XX je určen pro závodění, zatímco zbytek je nabízen spíše pro užitkové činnosti.

Přední náprava je u všech modelů této firmy řešena stejně. Konkrétně se jedná o dvojitou lichoběžníkovou nápravu, často také nazývanou Double Wishbone. U nezávodních modelů řady Prowler je na předních nápravách zdvih 25,4 cm, zatímco závodní model Wildcat XX má zdvih téměř dvojnásobný – 45,7 cm. Tak vysoký zdvih je prakticky nevyužitelný, avšak u závodních modelů se s ním setkáme poměrně často [6].

Tento typ se obecně používá na předních nápravách velmi často kvůli jejím perfektním dynamickým a kinematickým vlastnostem. Také je poměrně snadné tuto nápravu upravovat tak, aby co nejlépe odpovídala profilu terénu. Toho se dá docílit snadným nastavováním délek příčných ramen, úhlů, které svírají a eventuelně pozic montážních bodů.



Obr. 21 – Přední lichoběžníkové zavěšení modelu Wildcat 1000X, firmy Arctic Cat [51]

Z obrázku je patrné, že ramena zavěšení jsou u tohoto modelu velmi dlouhá, stejné délky a rovnoběžná. Výhodou tohoto nastavení je téměř nulový odklon během propružení, jízdy nerovnostmi a brždění. Na druhou stranu se takhle vysoký zdvih může negativně projevovat při naklápění karoserie změnou rozchodu kol, který ostatně vzniká i během propružení, jelikož u SxS vozidel dochází k jejich velkým výchylkám

Zadní nápravy u vozů řady Prowler jsou opět lichoběžníkového typu – Double A-Arm. Zdvih je zde opět u všech modelů Prowler stejný – 24,1 cm. U modelu Wildcat XX je ale jako řešení zadní nápravy zvolen typ úhlové kyvadlové nápravy o zdvihu 45,7 cm [6].

2.5.2 POLARIS

Tato firma má mnohem větší portfolio vozů SxS než Arctic Cat. Díky větší rozmanitosti vozů se zde také vyskytuje více různých řešení jejich náprav.

Model Polaris RZR XP 1000 má vpředu opět lichoběžníkovou nápravu se zdvihem 40,6 cm. Vzadu je tříramenná výkyvná úhlová náprava. Tato náprava eliminuje odklon efektivněji než

právě lichoběžníková. Je také poměrně odolná a spolehlivá, což je výhodou u zatěžovaných náprav, jako jsou u SxS vozidel.

Dalším zástupcem je elektrický model Polaris Ranger EV, který má elektrický pohon. Nápravy jsou u něj řešeny poněkud netypicky, a to předním zavěšením typu MacPherson se zdvihem 20,3 cm a nezávislým lichoběžníkovým zavěšením o zdvihu 22,9 cm [7].

Posledním modelem, která bych zde rozvedu je Polaris Ranger 6x6. Ten disponuje opět přední nápravou MacPherson se zdvihem 20,3 cm. Zadní náprava je tvořena systémem výkyvného zavěšení se zdvihem 15,9 cm a prostřední kola jsou uchycena pomocí lichoběžníkového zavěšení se zdvihem 13,4 cm. U tohoto modelu byly nápravy zvoleny s přihlédnutím jeho využití – převoz nákladu, čemuž jsou přizpůsobeny i zvolené typy zavěšení [29].



Obr. 22 – Polaris Ranger 6x6 se třemi nápravami [29]

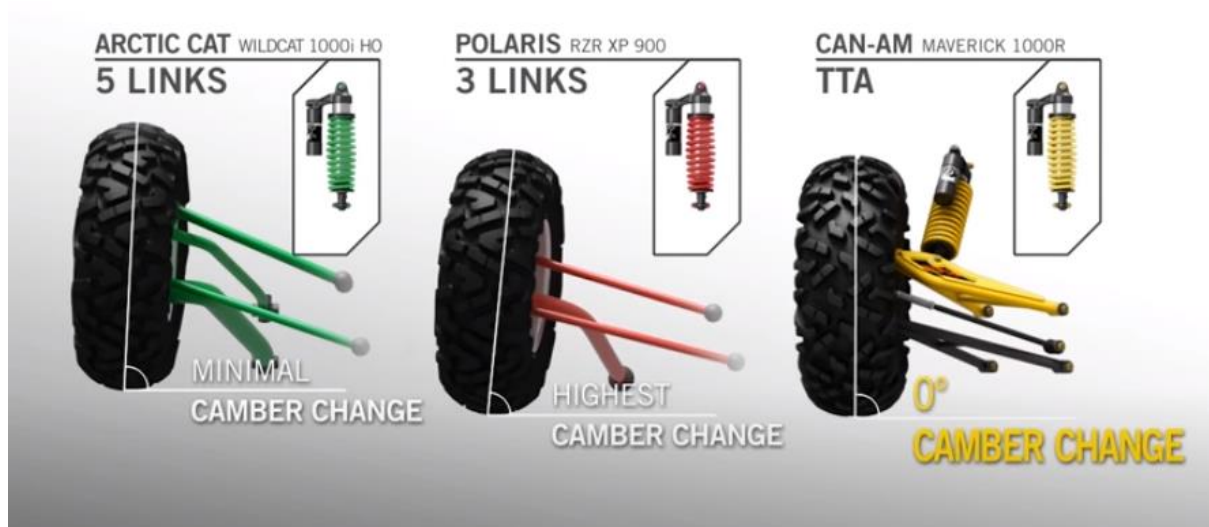
2.5.3 CAN-AM

Další z předních výrobců vozidel SxS, který má velmi široké portfolio modelů s různými druhy zavěšení.

Jako první, bych zmínil model Can-Am Maverick 1000R, který je určen především pro volnočasové aktivity a závodění. Tento model je vybaven vpředu lichoběžníkovou nápravou s maximálním zdvihem 35,6 cm. Vzadu je vybaven pětiramennou úhlovou kyvadlovou nápravou (TTI – Torsional Trailing Independent – firemní název modifikace), která kombinuje dobré vlastnosti pětiramenné (Arctic Cat Wildcat 1000i HO) a jednoduchost tříramenné (Polaris RZR XP 900) nápravy. Zadní náprava disponuje stejným zdvihem jako přední – 35,6 cm [52].

Modifikace nápravy u modelu Maverick 1000R má oproti konkurenci (Arctic Cat a Polaris) řadu výhod. Jednou z nich je nulová sbíhavost, kdy např. model RZR XP 900 firmy Polaris a

tříramenným zavěšením stejného typu, má změnu sbíhavosti, tzv. bump steer cca $3,1^\circ$. Další výhodou je také téměř nulový odklon.



Obr. 23 – Porovnání odklonu modelů od firem Arctic Cat, Polaris a Can-Am [30]

Modely firmy Can-Am jsou obecně na velmi vysoké úrovni. Can-Am používá na předních nápravách svých modelů různé modifikace lichoběžníkové nápravy (Stejně či rozdílně dlouhá ramena, počet ramen atd.). Na zadních nápravách používá nejčastěji různé upravené verze úhlové kyvadlové nápravy.

3 HNACÍ ÚSTROJÍ VOZIDEL SXS

Další podstatnou částí vozidel je hnací ústrojí. Hnací ústrojím rozumíme takové komponenty, které umožňují přenos výkonu z motoru do kol. Součástmi hnacího ústrojí je tedy motor, převodovka a diferenciál.

3.1 ZÁKLADNÍ POPIS A VLASTNOSTI HNACÍCH ÚSTROJÍ VOZIDEL SXS

3.1.1 MOTOR

Motor je taková součást, která přeměňuje chemickou (v případě vozidel s elektrickým pohonem pak elektrickou) energii na mechanickou. Pro SxS vozidla je důležitý poměr velikosti motoru a výkonu, event. točivého momentu. Z tohoto důvodu volí výrobci nejčastěji benzinové motory, které umožňují dosáhnout velkého výkonu při malém zdvihovém objemu motoru. Tento typ motorů se používá hlavně u výkonnějších modelů. U levnějších vozidel, která jsou určeny především pro jízdu nenáročným terénem a slouží tak pro pohyb v rámci usedlosti, volí výrobci naftový či elektrický motor.

3.1.2 BENZINOVÝ MOTOR

Benzinové motory jsou nejčastěji používané pohony ve vozidlech SxS. Kromě důvodů zmíněných výše jsou dalšími důležitými faktory jednoduchá konstrukce a nízká váha. Nejčastěji se u vozidel SxS používají čtyřtakové motory, jejichž počet válců je v rozmezí od jednoho do čtyř. Zpravidla se používá řazení válců řadové a do V. Chlazení je běžně zajištěno pomocí kapaliny.

Důležitou charakteristikou motorů jsou také ventilové rozvody – tedy zařízení, které řídí výměnu obsahu válců. Výběr způsobu konstrukce má pak zásadní vliv na charakteristiky motoru, ať už je to např. účinnost či kompresní poměr. Pro přehled uvedu základní typy této konstrukce.

SOHC – Single Over Head Camshaft, kdy jsou ventily a vačková hřídel umístěny v hlavě motoru.

DOHC – Double Over Head Camshaft – u této konstrukce jedna vačková hřídel ovládá sací ventily a druhá výfukové. Používá se u čtyř a pěti – ventilového uspořádání [31].

OHV – Over Head Valves – Ventily jsou v hlavě válců a vačková hřídel je umístěna v bloku motoru.

Vstřikování paliva do válců zajišťuje nejčastěji systém EFI (Electronic fuel injection) [31].



Obr. 24 – Benzinový motor vozidla Can – Am Maverick X3 [53]

3.1.3 DIESELOVÝ MOTOR

Tento typ motoru není tolik využíván u závodních modelů. I tak ho ale mezi zástupci SxS vozidel můžeme najít zvláště u těch vozů, které jsou určeny k převozu těžkého nákladu, či manipulaci s těžšími břemeny. Právě pro manipulaci s těžším nákladem je vhodnější naftový motor, a to díky lepšímu krouticímu momentu, který je schopen při nižších otáčkách vyprodukovat. Uspořádání válců je řadové a ventilové rozvody se zde používají typu OHV.

3.1.4 ELEKTROMOTOR

Nejen u klasických automobilů dochází k postupné elektrifikaci. SxS vozidlům tedy stále dominuje klasický benzinový motor, ale někteří výrobci přichází na trh s modely, které pohání elektromotor. Mezi jeho hlavní výhody patří velmi vysoký krouticí moment, nízká hlučnost a lokální bezemisivita. Další výhodou je také absence převodovky, což vede ke zjednodušení celé konstrukce.

3.2 PŘEVODOVKA

Převodovka je další část hnacího ústrojí, kterou nalezneme u klasických spalovacích motorů. Vzhledem k poměrně úzkému rozsahu využitelných otáček spalovacích motorů slouží převodovka k úpravě převodových poměrů na ozubených kolech tak, aby se otáčky motoru pohybovaly v ideálním rozmezí během zpomalování či zrychlování vozidla. Dále slouží k přerušení přenosu krouticího momentu – vozidlo je na neutrálu a také umožňuje změnit smysl otáček – tedy zpětný chod vozidla [33].

V oblasti SxS vozidel se nejčastěji setkáme s rozdělením převodovek na stupňové a plynulé, přičemž výrobci SxS vozidel používají v drtivé většině případů ty plynulé. Stupňové převodovky mají konkrétní počet převodových stupňů, zatímco plynulé převodovky jich mají nekonečno.

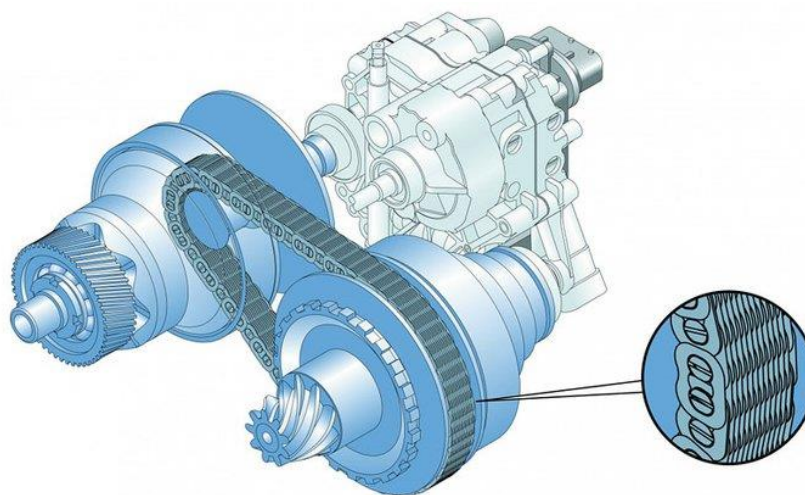
Převodovky s plynulou změnou – CVT (Continuously variable transmission) jsou nejrozšířenějším řešením zpřevodování, avšak se můžeme setkat i s automatickými stupňovými převodovkami s hydrodynamickým měničem momentu.

3.2.1 PŘEVODOVKA S PLYNULOU ZMĚNOU PŘEVODOVÉHO POMĚRU – CVT

Tento typ převodovky se skládá ze dvou protichůdných kuželů, které jsou propojeny hnacím řemenem. Charakteristikou této převodovky je udržování stejného počtu otáček i během zrychlování. Po vyšlápnutí pedálu se otáčky sníží na minimum. Otáčky motoru tedy vůbec nesouvisí s rychlostí kol.

Hlavní výhodou této převodovky je absence rychlostních stupňů. Díky tomu si vozidlo samo mění otáčky tak a docílí tak úspory paliva. Jízda je také plynulejší než u stupňových převodovek [35].

Nevýhodou je hlučnost a nemožnost vyšší angažovanosti řidiče během jízdy.

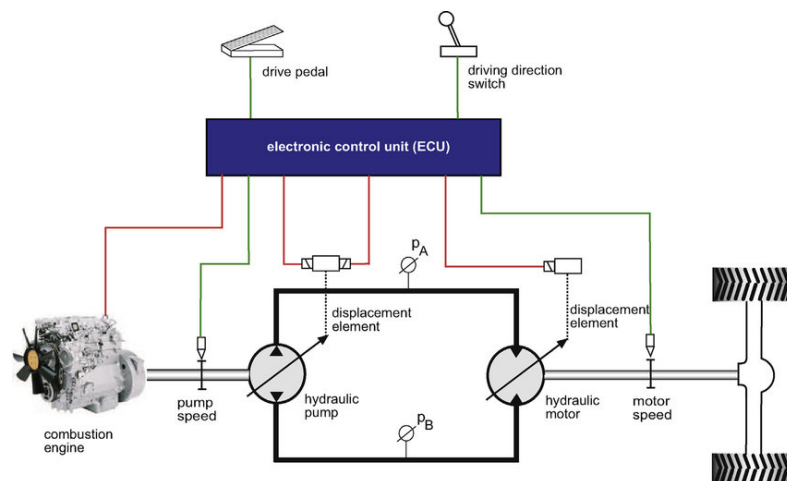


Obr. 26 – Převodovka typu CVT [34]

3.2.2 HYDROSTATICKÁ AUTOMATICKÁ PŘEVODOVKA VHT

Jedná se o typ převodovky, který se používá především u těch vozidel, která jsou určena především k práci a převozu těžšího nákladu. Také fungují na principu plynulého převodu, ale ke změně využívají přečerpávání vysokotlakého hydraulického oleje různými rychlostmi pomocí hydraulických motorů. Tento motor následně roztočí kola přímo, nebo spíše přes další rozvody. [36].

Tato vozidla jsou schopna vyvinout obecně nižší rychlost než ta s převodovkou CVT, ale jsou poměrně nenáročná na servis. Používá je například firma Bobcat pro modely 3600 a 3650.



Obr. 27 – Schéma převodovky typu VHT [37]

3.3 POHON 4x4

SxS vozidla se pohybují zejména na nezpevněných vozovkách a méně přístupných terénech. Pro tento účel je většina vybavena pohonem všech čtyř kol. Možnost a způsob připojení či odpojení přední nápravy se u jednotlivých modelů a výrobců liší. Nejčastěji se můžeme setkat s ručně či automaticky připojitelnou přední nápravou skrze mezinápravovou spojku, což je zařízení, které umožňuje během prokluzu kol dané nápravy, připojit druhou nápravu pro zvýšení adheze.

Diferenciál je další zařízení, pracující na principu planetové převodovky. Zamezuje tomu, aby u vozidla došlo ke smyku při průjezdu zatáčkou. Jeho funkcí je rovnoměrné rozdělení kroutícího momentu na výstupní hřídele u jednotlivých kol. Ovšem během jízdy terénem může poměrně často dojít k prokluzu jednoho z kol a diferenciál pak přenáší kroutící moment primárně na kolo, které se točí rychleji, což je nežádoucí. Zamezit tomuto jevu lze skrz uzávěrku diferenciálu. Toto konstrukční řešení umožňuje rozdělit výkon mezi kola v poměru 50:50 a díky tomu může zabrat větší silou to kolo, u kterého nedochází k prokluzu. Je nutné však uzávěrku po vyproštění vypnout, jinak by při vyšších rychlostech (cca 30 km/h) mohlo dojít při průjezdu zatáčkou ke smyku. Možnosti vypnutí a zapnutí uzávěrky diferenciálu se u jednotlivých modelů SxS vozidel liší. Lze ji vypnout manuálně, automaticky, nebo může být vypnutí/zapnutí provedeno kombinací těchto dvou způsobů [21].

Diferenciály se používají v různých konstrukčních modifikacích. Základní typ je otevřený diferenciál, samosvorný diferenciál nebo diferenciál s omezeným prokluzem Torsen.

Otevřený diferenciál funguje bez jakéhokoli svorného účinku. Nejčastěji se můžeme setkat s otevřeným diferenciálem kuželového typu. Ten je složen ze stálého úhlového převodu, satelitů, klece diferenciálu a planetových kuželových kol. Modifikací tohoto typu diferenciálu je také čelní planetový diferenciál s přímými zuby. Ten se ale používá nikoli k rovnoměrnému rozdělení mezi kola na jedné nápravě, ale k rozdělení kroutícího momentu mezi jednotlivými nápravami [21].

Dalším typem je samosvorný diferenciál, který funguje na opačném principu než otevřený. Můžeme se také setkat s označením diferenciál s omezeným prokluzem. Ten je složen ze satelitů a šroubových kol, které jsou spojeny čelním soukolím. Nastane-li u jednoho kola prokluz a u druhého je přilnavost k povrchu lepší, dojde k přenosu většího krouticího momentu právě na to kolo, které neprokluzuje [21].

Nejčastěji se používá diferenciál typu Torsen (z angl. TORque SENsing), nebo lamelový samosvorný diferenciál, což jsou v podstatě upravené konstrukce samosvorného diferenciálu.



Obr. 28 – Průřez diferenciálem typu Torsen [40]

3.4 SPECIÁLNÍ POŽADAVKY NA HNACÍ ÚSTROJÍ VOZIDEL SxS

Jedním z hlavních požadavků na konstrukci jednotlivých částí hnacích ústrojí je poměr velikosti/hmotnosti a výkonu. Vozidla SxS jsou poměrně malá, a proto se zde volí motory, často velikostí srovnatelné, jakými disponují např. motorky, zvláště pak u slabších a menších modelů. S tím souvisí maximální hodnota zdvihového objemu, která je omezena na 1000 cm³, a to z důvodu právních norem a restrikcí dané hlavním smyslem využívání těchto vozů, což je především rekreace.

Požadavky na převodovku jsou takové, aby bylo možno co nejplynuleji jezdit terénem a nepevněnými vozovkami, k čemuž je manuální řazení poněkud nepraktické a využívá se tedy hlavně automatických převodovek, nejčastěji typu CVT. I u nich je ale kladen důraz na úsporu místa a váhy.

Jízda terénem často vyžaduje i využití pohon všech čtyř kol, avšak ne vždy je to nezbytné, proto se u vozidel SxS velmi často setkáváme s různými řešeními připojování předních náprav, sepínání pohonu 4x4, či dalších jízdních režimů, a to dle předpokládaného využití.

3.5 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ HNACÍCH ÚSTROJÍ PRO VOZIDLA SxS OD HLAVNÍCH VÝROBCŮ

V předchozí kapitole byly uvedeny základní části a jejich typy hnacích ústrojí, které se používají zejména u vozidel typu SxS. V následující kapitole představím jednotlivá konstrukční řešení výrobců firem Arctic Cat, Polaris a Can – Am.

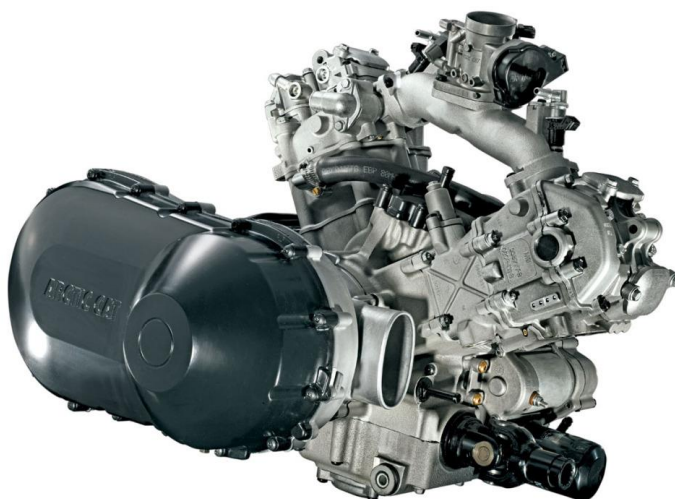
3.5.1 ARCTIC CAT

Arctic Cat má tři základní typy modelů: Prowler Pro, Prowler 500 a Wildcat XX. Některé z nich jsou nabízeny i v dalších modifikacích (např. pro čtyři osoby). Všechny vozy této značky využívají ke svému pohonu benzin a jsou čtyřtakoví.

Nejméně výkonný model Prowler 500 disponuje kapalinou chlazeným, jednoválcovým motorem typu SOHC o zdvihovém objemu 443 cm³. Převodovka je zde typu CVT – tedy variátor s pohonem čtyř kol, který umožňuje manuální odpojení přední nápravy pomocí diferenciálu.

U modelu Prowler Pro pohání celý vůz kapalinou chlazený tříválec typu DOHC o výkonu 37,3 kW a zdvihovém objemu 812 cm³. Převodovka, pohon všech čtyř kol a jeho přepínání je stejné, jako u modelu Prowler 500. Zadní diferenciál je možno elektronicky uzamknout. stejné, jako u modelu Prowler 500. Zadní diferenciál je možno elektronicky uzamknout.

Nejvýkonnější Wildcat XX o výkonu 111,9 kW, je osazen motorem kapalinou chlazeným, tříválcovým, typu DOHC. Převodovka i přepínání z pohonu všech čtyř kol na pohon dvou kol je zde řešeno stejně, jako u předchozích modelů [41].



Obr. 29 – motor a převodovka modelu Wildcat XX od firmy Arctic Cat [41]

3.5.2 POLARIS

Firma Polaris má ve svém portfoliu také tři základní typy modelů, kdy model Ranger 1000 a jeho další modifikace jsou určeny především jako užitková vozidla, modely řady RZR jsou spíše závodního charakteru a modely řady General jsou průnikem a určitým kompromisem mezi těmito dvěma kategoriemi.

Užitkové modely Ranger 1000 používají k pohonu dvouválcový motor typu SOHC o výkonu 45,5 kW s kapalinovým chlazením a zdvihovém objemu 999 cm³. S automatickou převodovkou typu PVT, což je pouze firemní označení pro převodovku CVT. Systém uzávěrky mezinápravového diferenciálu je manuální a je zde možnost přepnout mezi třemi módy. Klasicky 4WD a 2WD (four-wheel drive a two-wheel drive) a také tzv Turf mode, který umožní pohánět pouze jedno zadní kolo a je určen pro jízdu po trávníku.



Obr. 30 – Systém manuálního přepínání mezi třemi jízdními módy u modelu Polaris Ranger 1000 [42]

Závodní modely řady RZR jsou nejvýkonnějšími vozidly této firmy, což také dokazuje výkon motorů těchto vozidel, který činí 125,3 kW. Motor je zde opět kapalinou chlazený, dvouválcový, typu DOHC s turbodmychadlem. Zdvihový objem válce je 925 cm^3 . Převodovka je zde stejná, jako u modelu Ranger 1000. Systém přepínání mezi 4WD a 2WD je opět manuální, ale chybí zde Turf mode, což je ale logické vzhledem k předpokládanému využití vozidla.



Obr. 31 – Závodní model Polaris RZR XP Turbo [43]

Kombinací těchto dvou modelů je model Polaris General XP 1000. Ten je jistým kompromisem mezi závodním RZR a plně užitkovým Rangerem 1000. Motor opět kapalinou chlazený, dvouválec typu DOHC se zdvihovým objemem 999 cm^3 a disponuje výkonem 74,6 kW.

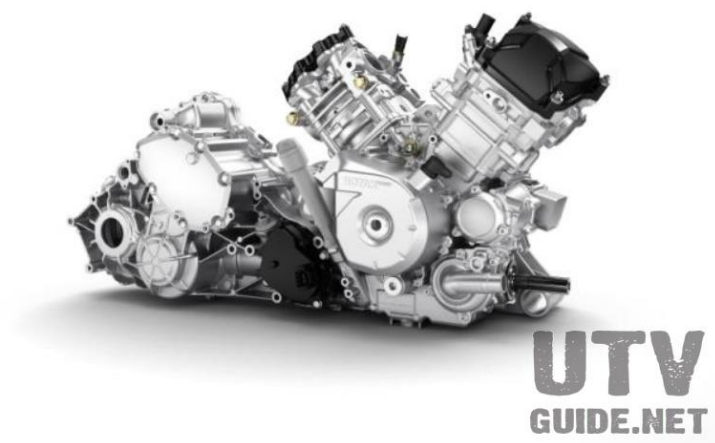
Přepínání je zde opět manuální skrze tlačítko na palubní desce a lze volit mezi čtyřmi módy: 4WD/2WD/VersaTrac a Turf mode. Převodovka je zde opět typu PVT.

3.5.3 CAN – AM

Množství druhů modelů vozidel SxS od firmy Can-Am je poměrně široké. Celkem je možno si vybrat mezi pěti řad modelů, z nichž každý má několik dalších modifikací. Pro stručnost zde uvedu tři hlavní zástupce těchto řad.

Prvním modelem, který bych rád zmínil je vozidlo řady Commader, konkrétně základní Commander DPS. Ten je určen především k práci a tomu odpovídají i jeho další charakteristiky. Disponuje výkonem 74,6 kW, které produkuje dvouválcový motor s řazením válců do V a zdvihovém objemu 976 cm³. Plynulou jízdu zde zajišťuje převodovka typu CVT. Přepínání 4WD a 2WD je zde opět manuální a tento model lze přepnout i do módu Turf. Vozidlo má také automaticky uzamykatelný přední diferenciál [44].

Model Defender, který je určen hlavně pro práci a převážení těžších nákladů. Lze si vybrat ze dvou motorů o výkonu 28,3 kW a 37,3 kW. Slabší motor disponuje jedním válcem o zdvihovém objemu 427 cm³ a silnější verze má zdvihový objem 799,9 cm³, dva válce řazené do V a obě verze jsou chlazeny kapalinou. Převodovka je u slabší verze typu CVT, zatímco u silnější je převodovka typu PRO-TORQ. Přepínání režimů pohonu kol je opět manuální. U slabší verze lze volit klasicky mezi 4WD/2WD. U silnější verze je přidána ještě možnost Turf. Obě mají automaticky uzamykatelný přední diferenciál [44].



Obr. 32 – Sestava motoru a převodovky Pro-Torque modelu Defender, verze 37,3 kW [44]

Posledním zástupcem této firmy, který bych rád uvedl je závodní vozidlo Maverick, konkrétně Maverick X3 DS Turbo. Ten je schopný vyprodukovat výkon o velikosti 89,5 kW. Ten produkuje tříválcový motor s turbodmychadlem s technologií Rotax ACE (Advanced combustion efficiency) a zdvihovém objemu 999 cm³. Převodovka a jízdní režimy jsou zde stejné jako u předchozích modelů [45].



Obr. 33 – Maverick X3 DS Turbo [45]

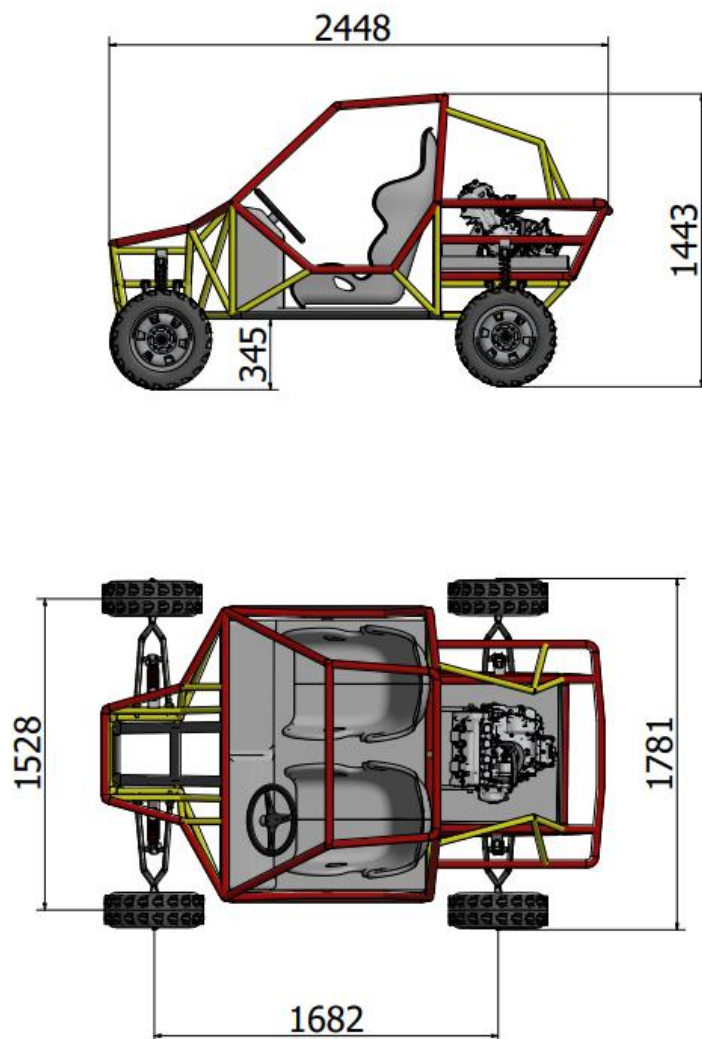
4 KONCEPČNÍ NÁVRH VOZIDLA SxS

V následující kapitole se budu věnovat koncepčnímu návrhu vlastního vozidla SxS. Zaměřím se především na návrh komponent, které byly podrobněji popsány v teoretické části. Kromě hlavních rozměrů budu navrhovat zavěšení kol, výpočet brzdných sil působících na nápravy, typ motoru a převodovky.

4.1 ZÁKLADNÍ ROZMĚRY A HMOTNOST

Toto vozidlo bude používáno především pro rekreační účely při jízdě terénem a nebude tak splňovat všechny požadavky potřebné pro homologaci k jízdě na silnici v běžném provozu, či na jakýchkoli certifikovaných závodních akcích.

Celkové rozměry vozidla byly voleny s přihlédnutím k velikosti jiných vozidel SxS, tak aby byla velikost srovnatelná a vozidlo bylo schopné pojmout jednoho řidiče a jednoho spolujezdce o výšce cca 175 cm. Prostor pro komfortní jízdu není zcela ideální a je zde určité prostor k optimalizaci. Motor bude umístěn vzadu, za řidičem.



Obr. 34 – Základní rozměry vozidla

Součást vozidla	Hmotnost [kg]
Rám	$m_1 = 200 \text{ kg}$
Motor (včetně převodovky)	$m_2 = 80 \text{ kg}$
Nápravy (včetně kol)	$m_3 = 85 \text{ kg}$
Řidič + spolujezdec	$m_4 = 160 \text{ kg}$
Kabina (sedadla, přístrojová deska)	$m_5 = 90 \text{ kg}$
Řízení	$m_6 = 8 \text{ kg}$
Celková hmotnost	$m_{\text{celková}} = 623 \text{ kg}$

Tab. 2 – Dílčí hmotnosti jednotlivých komponent

Analýza celkové hmotnosti vozidla byla určena pouze odhadem a přibližnými hmotnostmi jednotlivých částí (motor, řidič atd). Výsledná váha se tedy může od té odhadované lišit.

4.2 RÁM VOZIDLA

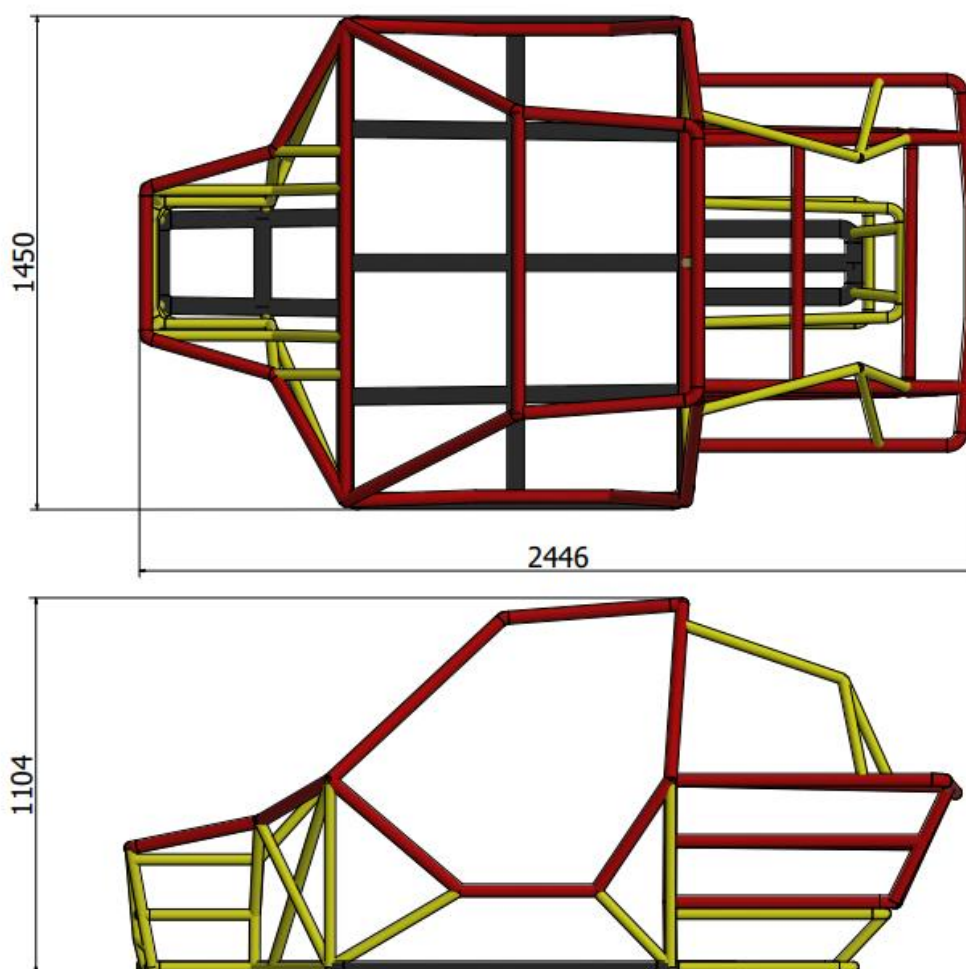
Rám vozidla je nosnou konstrukcí všech jeho komponent a drží tak celou pohybující se soustavu pohromadě. Z tohoto důvodu jsou na něj kladeny poměrně vysoké nároky, co se týče bezpečnosti, tuhosti a pevnosti. Významně také slouží k ochraně jezdců a je tak nutné ho navrhovat tak, aby v maximální možné míře zabezpečil bezpečnost jezdců např. během nárazu, či přetočení.

Rám je tvořen pomocí nosníků, které jsou nařezány z polotvarů a je nutné, aby byly co nejpřesněji navařené, jelikož se na tyto prvky nadále montují další konstrukční celky a odvíjí se od nich celková přesnost celého vozidla.

Pro zajištění bezpečnosti, pevnosti a tuhosti celé konstrukce je nutné provést pevnostní analýzu, ale vzhledem k tomu, že se jedná o koncepci, tak tuto analýzu provádět nebudu a bude možnost na ni pracovat později, např. v rámci diplomové práce.

V koncepčním návrhu jsem použil následující typy nosníků:

- Hlavní nosné prvky rámu, jež jsou tvořeny ocelovými bezešvými válcovanými trubkami obdélníkového průřezu 50x35x3 CSN 425720 (černá barva)
- Hlavní nosné prvky rámu, tvořeny ocelovými bezešvými válcovanými trubkami, kruhového průřezu 38x4 CSN 426750 (červená barva)
- Vedlejší konstrukční prvky, které slouží ke zpevnění celé konstrukce a uchycení náprav. Ty jsou tvořeny ocelovými bezešvými válcovanými trubkami, opět kruhového průřezu 32x4 CSN 426750 (žlutá barva)



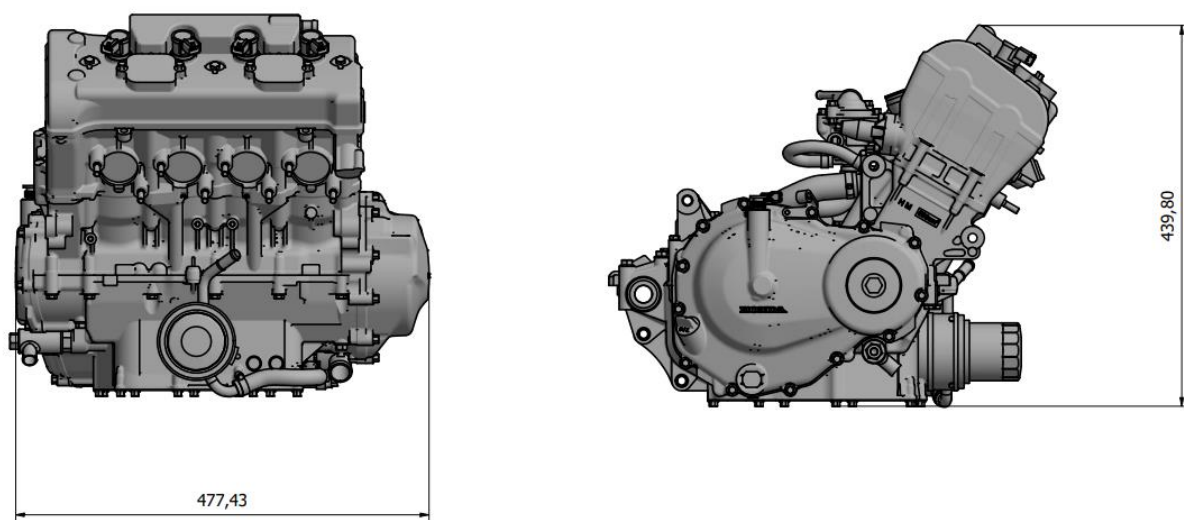
Obr. 35 – Konceptní návrh rámu

Hlavní nosná konstrukce je navrhována tak, aby zajišťovala udržení tvaru celého vozidla, proto je zde dobré volit nosníky obdélníkového průřezu, ideálně s větší tloušťkou.

4.3 ULOŽENÍ A VOLBA MOTORU

Pro pohon navrhovaného vozidla jsem zvolil motocyklový motor CBR 600, který se mj. používá i v rámci soutěží Formule student. Tento motor je ideální svými rozměry a také výkonem. Jak již bylo zmíněno v teoretické části, je maximální zdvihový objem válce u vozidel SxS, omezen na 1000 cm^3 , čemuž zvolený motor se svým zdvihovým objemem 599 cm^3 zcela vyhovuje.

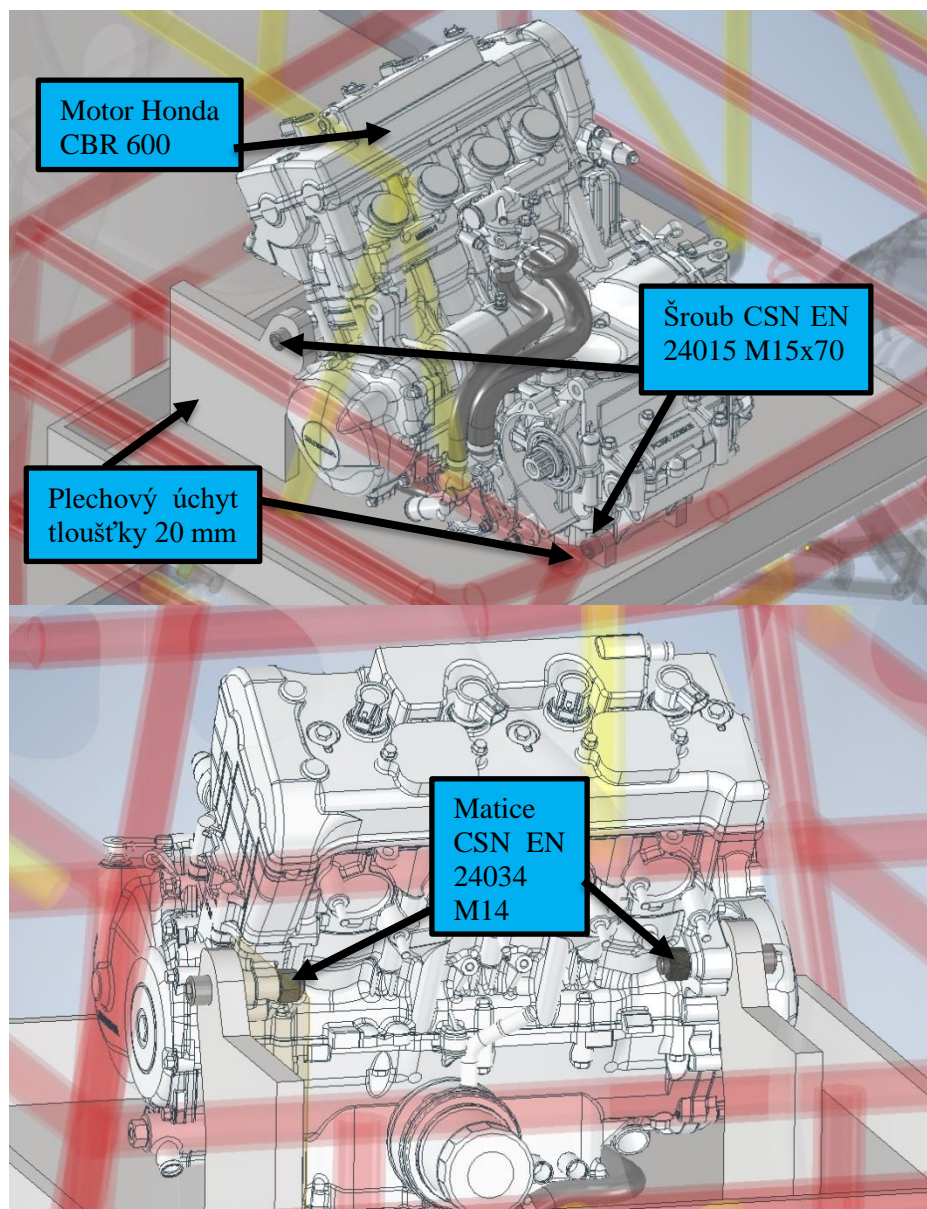
Rozměry motoru, které byly podstatným faktorem při volbě celkových rozměrů vozidla, byly naměřeny pomocí modelovacího softwaru Inventor, kde jsem k rozměrové analýze použil model z portálu grabcad.com [54]. Následně jsem naměřené hodnoty ověřil s hodnotami, které udává výrobce a tyto hodnoty sedí.



Obr. 36 – Základní rozměry motoru

Motor je uložen za sedadly řidiče a spolujezdce uprostřed tak, aby vozidlo mělo optimální polohu těžiště. Zde je prostor k optimalizaci tak, aby motor byl posazen ještě níže a tím byla snížena i poloha těžiště. Avšak vozidlo samo o sobě není tak vysoké a při dostatečné hmotnosti hnacího ústrojí, umístěném na podvozku a dalších prvcích lze (při zachování bezpečnosti) tento aspekt zanedbat.

Motor je uložen na plechové podložce o tloušťce 20 mm, který je připevněn k rámové konstrukci. Samotný motor je k podložce připevněn pomocí originálních úchytů na obou stranách a posazen na podložce.



Obr. 37 – Uchycení motoru na vozidle

Dalším důležitým aspektem pro správné fungování vozidla je dimenzování hnacího ústrojí tak, aby se vozidlo bylo schopné pohybovat v takovém prostředí, pro které je jeho užití určeno. Pro naše účely lze konstatovat, že se vozidlo bude pohybovat po nezpevněných polních cestách, z čehož budeme při nadcházejících výpočtech vycházet.

4.4 DIMENZOVÁNÍ HNACÍHO ÚSTROJÍ

Jak již bylo zmíněno výše, byl zvolen motocyklový motor o zdvihovém objemu 598 cm³. V následující kapitole bude ověřeno, jestli byl motor zvolen správně a je vyhovující pro předpokládané využití.

Jak bylo zmíněno v teoretické části, vozidla SxS se v drtivé většině nabízí s automatickými převodovkami. Také varianta motoru Honda CBR 600 je dostupná ve variantě s automatickou převodovkou, kterou jsem také zvolil do svého návrhu.

Zásadní pro správnou volbu motoru jsou jízdní odpory. K jejich určení je ale nutné znát několik následujících veličin [46].

Počet válců	4
Uspořádání válců	4 válce v řadě
Vrtání, zdvih	65 x 45,2 mm
Zdvihový objem	598 cm ³
Kompresní poměr	11,6:1
Ventilové rozvody	Řetězový DOHC, 4 ventily na válec
Maximální výkon	81 kW/ 12000 rpm
Maximální kroutící moment	64 Nm/10500 rpm
Typ chlazení	Kapalina
Příprava palivové směsi	Karburátor, 4x34 mm
Druh paliva	Benzín
Najeto kilometrů	83 816 km (tachometr)
Rok výroby	1992
Typ motoru	PC25

Tab. 3 – Základní parametry motoru Honda CBR 600 [49]

První z nich je maximální rychlost, kterou se bude vozidlo pohybovat. Vozidlo bude využíváno k volnočasovým aktivitám, avšak nikoli k oficiálním závodům. Z tohoto důvodu bude maximální rychlost zvolena následovně:

$$v_{\text{maximální}} = 90 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 25 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Dalším podstatným faktorem je povrch, po kterém se bude navrhované vozidlo pohybovat. Tím jsou polní či lesní cesty.

4.4.1 VALIVÝ ODPOR

Prvním z dílčích odporů je valivý odpor, ke kterému dochází v důsledku deformace pneumatiky během působení na vozovku.

Valivý odpor určíme z následující rovnice:

$$O_f = n * f_K * F_g \quad (1)$$

Proměnná n charakterizuje počet kol – volíme tedy 4. Koeficient f_K určíme z tabulky č. 4. Volíme hodnotu 0,08, která náleží intervalu pro travnatý terén nebo mokré polní cesty.

Povrch	f_K	Povrch	f_K
asfalt	0,01 – 0,02	travnatý terén	0,08 – 0,15
beton	0,015 – 0,025	hluboký písek	0,15 – 0,30
dlažba	0,02 – 0,03	čerstvý sníh	0,20 – 0,30
makadam	0,03 – 0,04	bahnitá půda	0,20 – 0,40
polní cesta – suchá	0,04 – 0,15	náledí	0,01 – 0,025
polní cesta – mokrá	0,08 – 0,20		

Tab. 4 – Součinitelé valivého odporu pro konkrétní povrchy [47].

$$O_f = 4 * 0,08 * 623 * 9,81 = 1955,7 \text{ [N]}$$

4.4.2 AERODYNAMICKÝ ODPOR

Další dílčí složkou jízdních odporů je aerodynamický odpor. Tento druh odporu vzniká při pohybu vozidla a závisí zejména na rychlosti čelní velikosti plochy vozidla, přítomnosti či absence aerodynamických prvků, světlé výšce apod.

Nejčastěji se při vývoji používá k určení aerodynamického odporu tzv. aerodynamický tunel. Vzhledem k omezeným možnostem bude tento odpor spočítán pomocí nepřímé metody, která spočívá v určení koeficientu vzdušeného odporu v závislosti na velikosti čelní plochy navrhovaného vozidla a jeho konstrukci. Tím zjistíme součin $c_x * S_x$, kde c_x je koeficient vzdušného odporu a S_x je čelní projekce plochy [47]

Aby bylo možné spočítat aerodynamický odpor, musíme nejprve určit měrnou hustotu vzduchu, předpokládanou rychlost vzduchu a hodnotu součinu $c_x * S_x$.

Budeme předpokládat měrnou hustotu vzduchu za normálních podmínek tj.

$$\rho = 1,25 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \text{ [odkaz]}$$

Velikost čelní plochy vozidla určíme pomocí programu Inventor a spočítáme z čelní projekce vozidla.

$$S_x = 1,2 \text{ m}^2$$

Předpokládaná rychlost vzduchu je dána součtem navrhované rychlosti vozidla a průměrné rychlosti větru, která odpovídá hodnotě:

$$v_v = 15,5 \frac{km}{h} = 4,3 \frac{m}{s} \quad [47]$$

Součinitel c_x odečteme z tabulky, která je uvedena v knize Dynamika motorových vozidel [48], kde podle tvaru vozidla vybereme interval hodnot koeficientu c_x .

Navrhované vozidlo vyhovuje kategorii závodních vozů s nekrytými koly, kde rozsah c_x je následující:

$$c_x = 0,4 - 0,6 [-]$$

Konkrétní hodnota závisí na velikosti čelní plochy a volíme tedy takto:

$$c_x = 0,6 [-]$$

Výsledný aerodynamický odpor je dán následujícím vztahem:

$$O_v = \frac{\rho}{2} * v_r^2 * c_x * S_x \quad (2)$$

$$O_v = \frac{1,25}{2} * 29,3^2 * 0,6 * 1,2 = 386,3 [N]$$

4.4.3 ODPOR ZRYCHLENÍ

Poslední složkou jízdních odporů je odpor zrychlení. Pro jeho určení je potřeba znát tzv. Součinitel rotačních součástí K celkovou hmotnost vozidla a zrychlení, jehož hodnotu odhadneme s přihlédnutím k předpokládanému využití a potřebám uživatele [46].

Nejprve je nutné znát převodové poměry jednotlivých stupňů převodovky:

Primární převod	1,822
Finální převod	2,666
Převod I. stupně	2,928
Převod II. stupně	2,062
Převod III. stupně	1,588
Převod IV. stupně	1,368
Převod V. stupně	1,200
Převod VI. stupně	1,086
Počet převodových stupňů pro jízdu vpřed	6
Počet převodových stupňů pro jízdu vzad	0

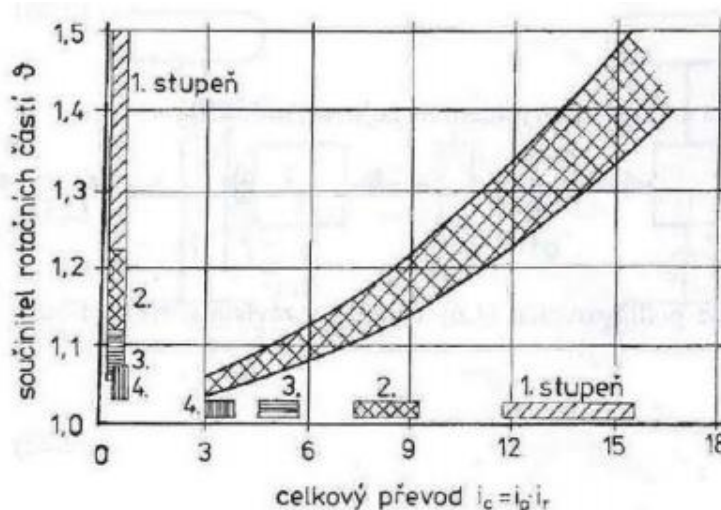
Tab. 5 – Převodové poměry jednotlivých stupňů [49]

K určení součinitele rotačních součástí je potřeba znát celkový převod nejvyššího převodového stupně. Ten je dán následující rovnicí [48]:

$$i_c = i_p * i_f * i_6 \quad (3)$$

$$i_c = 1,822 * 2,66 * 1,086 = 5,28 [-]$$

Hodnotu součinitele K určíme z grafu na obrázku č. 34.



Obr. 38 – Graf závislosti součinitele rotačních součástí na hodnotě celkového převodu 6. stupně [47]

$$K = 0,9 [-]$$

Nyní jsou známy všechny parametry kromě zrychlení. To budeme volit s přihlédnutím k předpokládanému využití ve volném čase a bez účasti na oficiálních závodech, proto hodnota zrychlení bude rovna:

$$a = 3 \frac{m}{s^2}$$

Odpor zrychlení je dán rovnicí:

$$O_z = K * m * a \quad (4)$$

$$O_z = 0,9 * 623 * 3 = 1682,1 [N]$$

4.4.4 ODPOR STOUPÁNÍ

Vzhledem k tomu, že SxS vozidla jezdí často složitým terénem, kopce nevyjímaje, pak je také důležité připočítat k jízdním odporům také ten, který vzniká stoupáním.

Pro předpokládané využití budeme počítat se stoupáním do 30 %.

Vztah pro určení odporu stoupání je tedy následující:

$$O_s = F_g * \sin \alpha \quad (5)$$

$$O_s = 623 * 9,81 * \sin 30^\circ = 3055,82 \text{ N}$$

4.4.5 DALŠÍ ODPORY

Během jízdy je vozidlo vystaveno přirozeně i dalším odporům (odpor vzniklý jízdou maximální rychlostí, či maximálním zrychlením).

Tyto odpory byly prověřeny, avšak jsou nižší než odpory, které budeme brát v potaz při vyhodnocování vhodnosti motoru a lze je tak v tomto návrhu zanedbat.

4.5 POTŘEBNÁ HNACÍ SÍLA

Celkový jízdní odpor je tedy součtem jednotlivých odporů. Pro naše potřeby ale je nutné znát pouze takový součet odporů, který bude odpovídat reálné situaci, tzn. nemůže dojít k uplatnění všech odporů zároveň.

Vycházíme z takového předpokladu, aby vozidlo bylo schopno jet do kopce. Na vozidlo bude působit valivý odpor a odpor stoupání. Vozidlo zde nebude zrychlovat a vzdušný odpor zde lze též zanedbat.

Celková hnací síla vychází ze vzorce:

$$F_k = O_s + O_f \quad (6)$$

$$F_k = 1955,7 + 3055,82 = 5011,52 \text{ [N]}$$

Vozidlo se při pohybu do kopce nebude pohybovat maximální rychlostí, ale rychlostí v_k

$$v_k = 50 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 13,8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Hnací výkon potřebný k pohybu vozidla je dán vztahem:

$$P_k = F_k * v_k \quad (7)$$

$$P_k = 5011,52 * 13,8 = 69,16 \text{ [kW]}$$

Navrhovaný motor disponuje výkonem o velikosti 81 kW. Dle předchozích výpočtů lze konstatovat, že motor bude pro námi navrhované vozidlo a jeho použití stačit.

5 NÁVRH ZAVĚŠENÍ, TLUMENÍ A ODPRUŽENÍ VOZIDLA SXS

V následující kapitole je popsán návrh systému zavěšení na přední a zadní nápravě. Přední i zadní zavěšení vychází z konceptu nezávislých typů náprav, konkrétně se jedná o modifikaci lichoběžníkového zavěšení, kdy z estetického hlediska byl změněn tvar ramen, který není přímý, ale je zakřivený.

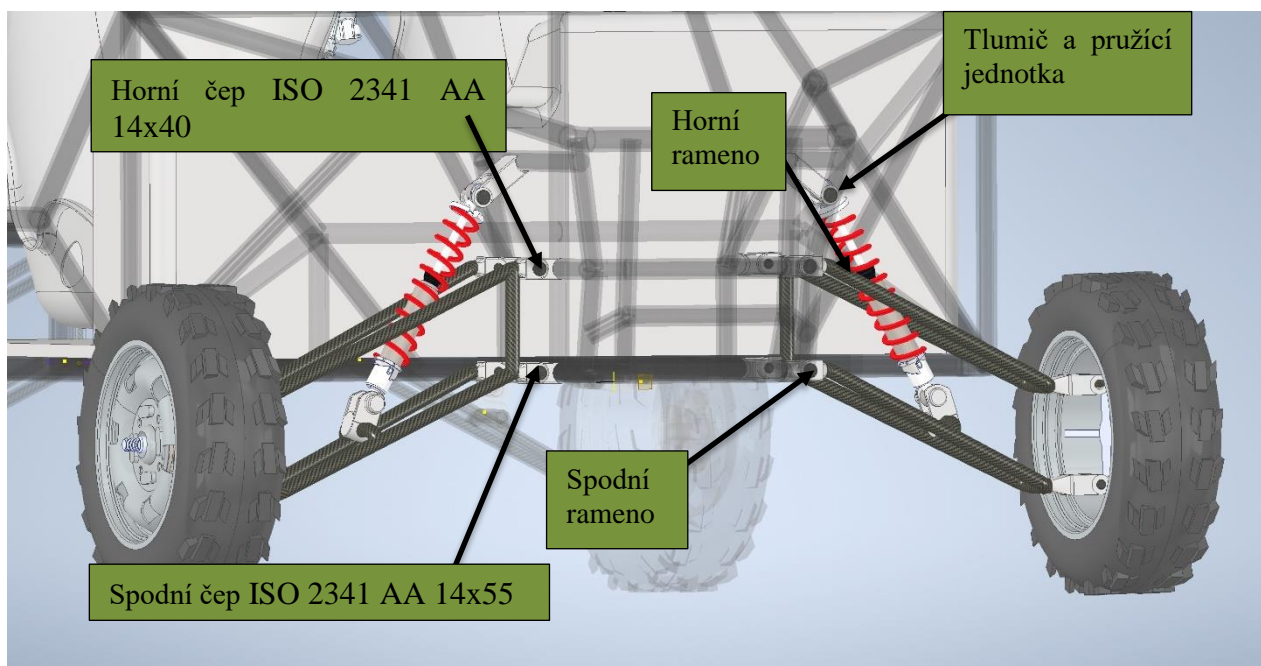
5.1 ZAVĚŠENÍ PŘEDNÍCH KOL

Pro přední kola byla zvolena lichoběžníková náprava, která má velmi dobré jízdní vlastnosti, je lehce opravitelná a také poměrně dobře nastavitelná. K rámu je připevněna pomocí úchytů, které jsou k trubkovým profilům přivařeny. Se samotnými rameny je spojení realizováno pomocí klasických čepů ISO 2341 AA 14x40. Ramena jsou rovnoběžná a u příčniku, který spojuje samotné kolo s nápravou se postupně spojují (viz obrázek č. 35). Kolo je připevněno k příčniku opět pomocí čepů ISO 2341 AA 14x55. Zde je nutno podotknout, že ve skutečnosti se jedná o řídicí nápravu a pro správné fungování vozidla je nutno spojit kola a ramena pomocí kulových čepů, které by zajišťovali nejen co nejmenší odklon během propružení – tedy natáčení kolem horizontální osy, ale také by zajišťovaly natáčení kolem vertikální osy. Jedná se ovšem o návrh a tuto skutečnost jsem ve svém návrhu zanedbal.

Ramena jsou tvořena ocelovými bezešvými přesnými trubkami CSN 426711 o průměru 22 mm a tloušťce 5 mm, která by měla zajišťovat dostatečnou odolnost proti prasknutí nápravy během propružení.

Pružicí jednotka spolu s tlumičem je umístěna na spodním rameni, aby hmotnost neodpružených hmot byla co nejmenší.

Dále je doporučeno provést únavovou a pevnostní analýzu, která zabezpečí, že během cyklického i statického namáhání nápravy bude zajištěna požadovaná životnost celé sestavy.



Obr. 39 – Koncepční návrh přední nápravy

Délka horního ramene	389 mm
Délka spodního ramene	392,2 mm
Rozteč uchycení ramen v rámu	141,85 mm
Rozteč mezi úchyty spodního a horního ramene	155,1 mm

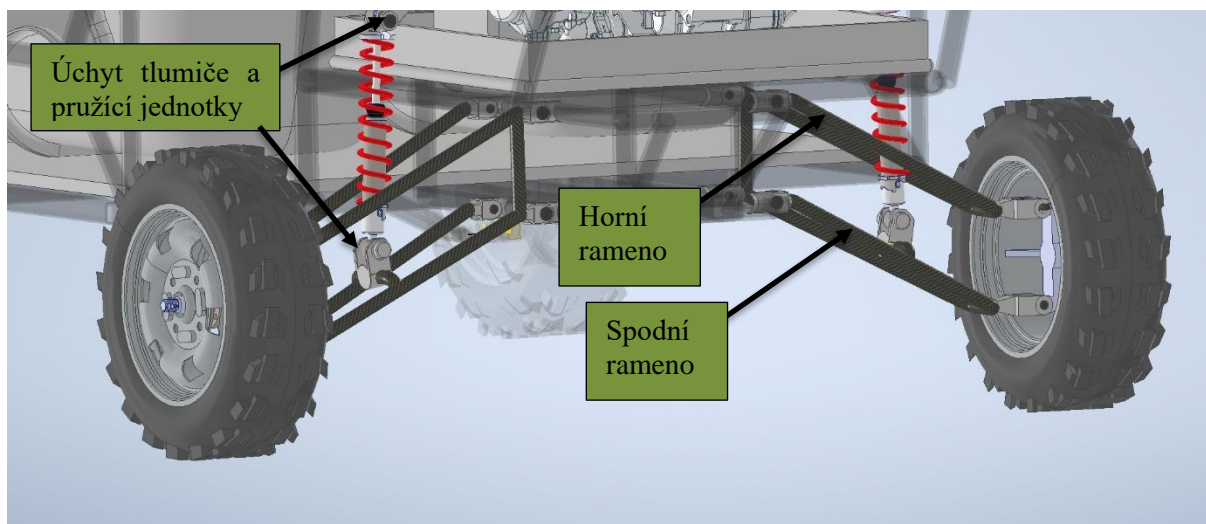
Tab. 6 – Rozměry přední nápravy

5.2 ZAVĚŠENÍ ZADNÍ NÁPRAVY

Zadní náprava vychází z konceptu přední nápravy. Jediné dva rozdíly jsou v umístění pružící a tlumící jednotky, která je v tomto případě připevněna k hornímu rameni a také zde není nutnost používat kulový čep k připojení kol a ramen vzhledem k tomu, že se nejedná o řídicí nápravu.

Zadní náprava se neliší ani v použitých profilech, či geometrii, či spojovacím materiálu mezi kolem a rameny a také rámem a rameny.

Jediným rozdílem je poloha pružící jednotky s tlumičem vůči vozidlu.



Obr. 40 – Koncepční návrh zadní nápravy



Délka horního ramene	389 mm
Délka spodního ramene	392,2 mm
Rozteč uchycení ramen v rámu	141,7 mm
Rozteč mezi úchyty spodního a horního ramene	110,9 mm

Tab. 7 – Rozměry zadní nápravy

Celkově jsou ramena na přední i zadní nápravě poměrně hodně skloněná a je zde prostor k optimalizaci např. v programu Optimum Kinematics tak, aby tzv. instant centre point, kolem kterého se zavěšení (kolo) natáčí, nebyl tak vysoko. Jeho aktuální vyšší poloha by totiž bylo příliš vysoko a docházelo by k velkému rozchodu kol, což je opět nežádoucí.

ZÁVĚR

Cílem této práce bylo seznámení čtenáře s problematikou SxS vozidel, přiblížit mu technická řešení používaná hlavními výrobci a provést analýzu a porovnání těchto řešení. Výstupem je tak ucelený přehled konstrukčních řešení náprav u vozidel SxS, jejich hnacích ústrojí a také jednotlivých konstrukcí od firem Can-Am, Polaris a Arctic Cat. Druhým cílem této práce bylo vytvoření koncepčního návrhu vlastního vozidla SxS.

V teoretické části práce je čtenář obeznámen s běžnými druhy zavěšení nejen u vozidel typu SxS. Dále jsou zde rozebrána jednotlivá konstrukční řešení výrobců, jejich zhodnocení a uvedení daného řešení na konkrétním modelu.

Následně jsou podobným způsobem popsána hnací ústrojí těchto vozidel, jejich nejdůležitější prvky, jako je motor, převodovka, rozvodovka, diferenciál a způsob pohánění všech čtyř kol. Stejně tak jako v u náprav jsou zde popsána jednotlivá konstrukční řešení tří hlavních výrobců, jejich zhodnocení a následné uvedení těchto řešení na konkrétních modelech.

V praktické části je popis samotného koncepčního návrhu, tedy nejprve jsou zde uvedeny základní rozměry vozidla a hmotnosti jeho dílčích částí. Prvním navrhovaným prvkem byl rám, jehož koncepční návrh je v této kapitole popsán. Dalším prvkem, který bylo potřeba správně zvolit, byl motor. K této části vozidla jsou uvedeny i základní výpočty tak, aby byl navržený motor použitelný pro předpokládané využití, což se povedlo.

V poslední kapitole praktické části je zde popsán koncepční návrh zavěšení. Geometrie ramen není správně optimalizovaná, jelikož k jejímu návrhu nebyl použit žádný program (např. Optimum Kinematics). Navrhované zavěšení bylo tedy konstruováno hlavně s přihlédnutím na požadavky celkového prostoru a designu. Zde je určitě prostor pro zlepšení a následné optimalizaci nejen podle již zmíněného programu, ale také k provedení pevnostních analýz, které by zajišťovaly dostatečnou výdrž celé nápravy.

6 POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] *Brief UTV history* [online], 2014. Payson: Rocky Mountains [cit. 2021-5-17]. Dostupné z: <https://www.rockymountainatvmc.com/rm-rider-exchange/taking-world-storm-brief-utv-history/>
- [2] *Difference between ATV and UTV* [online]. Columbus: Nationwide [cit. 2021-5-17]. Dostupné z: <https://www.nationwide.com/lc/resources/powersports/articles/difference-between-atv-utv>
- [3] *List of all UTV manufacturers and models* [online]. USA: UTV buddy [cit. 2021-5-17]. Dostupné z: <https://utvbuddy.com/all-utv-manufacturers-and-models/>
- [4] *Polaris Ranger 1000* [online]. [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: <https://ranger.polaris.com/en-us/ranger-1000-premium-stealth-gray/specs/>
- [5] *Can - Am Maverick X3* [online], 2017. Valcourt [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: https://www.dirttoysmag.com/2017/12/canam-maverick-x3-racer-phil#Can-AmBlurton_944.jpg
- [6] *Wildcat XX* [online]. Minneapolis: Arctic Cat [cit. 2021-5-17]. Dostupné z: <https://arcticcat.txtsv.com/side-by-side/wildcat/wildcat-xx#specs>
- [7] *Ranger EV avalanche* [online]. [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: <https://ranger.polaris.com/en-us/ranger-ev-avalanche-gray/specs/>
- [8] *Can-Am Off-Road*, 2001-. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2021 [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Can-Am_Off-Road
- [9] *Can - Am Maverick X3* [online]. [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: <https://can-am.brp.com/off-road/us/en/models/side-by-side-vehicles/maverick-x3.html>
- [10] *Maveric X3, Specifications* [online]. [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: <https://can-am.brp.com/content/dam/apac/zh/can-am-off-road/my21/Documents/Spec-sheets/SSV/ORV-MY21-SPEC-MAVX3-X-rs-Turbo-RR-SS-ENNA.pdf>
- [11] *Bobcat Company*, 2001-. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2021 [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Bobcat_Company
- [12] *UTV suspension* [online]. [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: <https://www.bobcat.com/utility-products/utv/features/suspension?referer=%2Futility-products%2Futv%2Fmodels%2F3650%2Ffeatures&type=model>
- [13] *2020 Bobcat 3650* [online]. [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: <https://www.atv.com/specs/bobcat/utility-utv/2020/3650/base/detail.html#:~:text=2020%20Bobcat%203650%20Specifications%20%20%20%20Identification,%20%2012%20%2075%20more%20rows>

- [14] *Bobcat utility vehicles* [online]. [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: <https://www.bobcat.com/utility-products/utv/utility-vehicles>
- [15] *XUV865R* [online]. [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: <https://www.deere.com/en/gator-utility-vehicles/full-size-crossover-gators/xuv865r-utility-vehicle-2021/>
- [16] *HONDA Talon 1000X* [online]. [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: <https://atvsxs.honda.ca/side-by-side/talon>
- [17] *2021 Yamaha YZX1000R* [online]. [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: <https://www.yamahamotorsports.com/pure-sport-side-by-side/models/yzx1000r-ss-xt-r>
- [18] *Bennche X2 1000* [online]. [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: https://www.bennche.com/UTV/X2_1000.htm
- [19] *2021 Kawasaki Teryx KRX* [online]. [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: https://www.kawasaki.com/en-us/side-x-side/teryx/teryx-2-passenger-sport/teryx-krx-1000/2021-teryx-krx-1000-es?cm_re=MPP-_-TERYXKRX%C2%AE1000:MODELS-_-VIEWSPECSDETAILS
- [20] NĚMEČEK, Pavel. *Zavěšení kol* [online]. In: . Liberec, 2009, s. 29 [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: http://old.kvm.tul.cz/studenti/texty/Kdms1/5-Zaveseni_kol.pdf
- [21] VLK, František, 2006. *Podvozky motorových vozidel*. 3., přeprac., rozš. a aktualiz. vyd. Brno: František Vlk. ISBN 80-239-6464-X.
- [22] REIMPELL, Joransen, Hellmut STOLL a Jurgen W. BETZLER, 2002. *The Automotive Chassis: Engineering Principles SECOND EDITION*. 2nd edition. Warrendale, PA: Society of Automotive Engineers. ISBN 0 7680 06570.
- [23] *Nezávislé zavěšení kol* [online]. [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: <http://www.autoznanosti.cz/index.php/podvozek-a-kola/42-nazavisle-zaveseni-kol.html>
- [24] *Podvozek: Geometrie a zavěšení kol* [online]. [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: <http://www.autoznanosti.cz/index.php/podvozek-a-kola/40-geometriezavesenikol.html>
- [25] *Kliková náprava* [online]. [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: <https://www.autolexicon.net/cs/articles/klikova-naprava/>
- [26] *Kyvadlová úhlová náprava* [online]. [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: <https://www.autolexicon.net/cs/articles/kyvadlova-uhlova-naprava/>
- [27] SVAČINA, Roman, 2013. *ÚHLOVÉ KYVADLOVÉ NÁPRAVY OSOBNÍCH VOZIDEL* [online]. BRNO [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=65636. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Petr Hejtmánek.

- [28] *Suspension geometry* [online]. [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: http://www.autozine.org/technical_school/suspension/tech_suspension21.htm
- [29] *Polaris RANGER 6x6* [online]. [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: *Suspension geometry* [online]. [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: http://www.autozine.org/technical_school/suspension/tech_suspension21.htm
- [30] *Maverick TTA* [online]. [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=WfCmwhL5EDk>
- [31] *Ventilové rozvody* [online], 2011. [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: <http://www.autoznalosti.cz/index.php/motor/36-ventilove-rozvody-zakladni-rozdeleni.html>
- [32] JIŘÍ, Máca, 2016. *Koncepce terénních vozidel UTV* [online]. Brno, 44 s. [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=127457. Bakalářská. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Pavel Kučera Ph.D.
- [33] *Převody* [online]. [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: https://www.skola-auto.cz/wp-content/uploads/2021/01/Prevody_22_1.pdf
- [34] *CVT převodovka* [online]. [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: <https://www.autoforum.cz/technika/jak-funguje-prevodovka-cvt-a-opravdu-dava-autu-nejlepsi-dynamiku/>
- [35] *Jak funguje CVT převodovka* [online]. [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: <https://www.autohled.cz/magazin/jak-funguje-bezestupnova-cvt-prevodovka-a-pro-koho-je-prave-variator-vhodny/1414>
- [36] *Types of transmission* [online]. [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: <https://www.grit.com/tools/machinery/utility-vehicles-types-of-transmissions-zm0z14jatzel>
- [37] *Scheme of hydrostatic transmission* [online]. [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/figure/Scheme-of-hydrostatic-transmission-in-mobile-working-machines_fig5_268386449
- [38] Diferenciál, 2001-. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Diferenci%C3%A1l_\(mechanika\)](https://cs.wikipedia.org/wiki/Diferenci%C3%A1l_(mechanika))
- [39] *Samosvorné diferenciály* [online]. [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: <https://www.auto.cz/technika-samosvorne-diferencialy-stejny-ucel-ruzny-princip-92755>
- [40] Torsen differential. In: *Grabcad* [online]. [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: <https://grabcad.com/library/torsen-differential-type-a-2>
- [41] *Arctic Cat Wildcat X* [online]. [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: <https://utvactionmag.com/arctic-cat-wildcat-x-limited/>

- [42] *Polaris Ranger 1000* [online]. [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: <https://ranger.polaris.com/en-us/ranger-1000/features/>
- [43] *Polaris RZR Turbo* [online]. [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: <https://rZR.polaris.com/en-us/rZR-xp-turbo-matte-sands-metallic/specs/>
- [44] *Can - Am Defender Review* [online]. [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: <https://www.utvguide.net/can-am-defender-review/>
- [45] *Can - Am Maverick X3 DS Turbo* [online]. [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: <https://can-am.brp.com/off-road/us/en/models/side-by-side-vehicles/maverick-x3.html#ds-turbo>
- [46] *Koncepční návrh terénní buggy* [online], 2019. Brno [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/116348?zp_id=116348. Bakalářská. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Ondřej Blatňák, Ph.D.
- [47] VLK, František, 2003. *Dynamika motorových vozidel*. 2. vyd. Brno: František Vlk. ISBN 80-239-0024-2.
- [48] Beaufortova stupnice, 2001-. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Beaufortova_stupnice
- [49] *Honda CBR600F - Specifications* [online]. [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: https://bikeswiki.com/Honda_CBR600F
- [50] *Vozidlo s tuhou nápravou* [online]. [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: <https://xoomi.com/koh-2020-a-new-king-crowned/>
- [51] *Arctic Cat Wildcat suspension* [online]. [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: <https://awesomeoffroad.com/products/arctic-cat-1000-wildcat-steer-sharp-kit-wildcat-steering-improvement-kit>
- [52] *Can - Am Maverick engine* [online]. [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: <https://www.nflowmotorsports.com/product/can-maverick-x3/>
- [53] *Víceprvková náprava* [online]. [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: <https://www.autolexicon.net/cs/articles/viceprvkova-naprava/>
- [54] *CBR600rr engine* [online]. [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: <https://grabcad.com/library/cbr600rr-engine-1>

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

$m_{celková}$	[kg]	Celková hmotnost vozidla
$v_{maximální}$	[m·s ⁻¹]	Maximální navrhovaná rychlost
O_f	[N]	Valivý odpor
n	[-]	Počet kol
f_K	[-]	Součinitel valivého odporu
F_g	[N]	Gravitační síla
O_v	[N]	Aerodynamický odpor
S_x	[m ²]	Čelní plocha vozidla
v_v	[m·s ⁻¹]	Rychlost větru
ρ	[kg·m ⁻³]	Měrná hustota vzduchu
c_x	[-]	Koeficient vzdušného odporu
i_c	[-]	Celkový převodový stupeň
i_p	[-]	Primární převod
i_f	[-]	Finální převod
i_6	[-]	Převod 6. stupně
K	[-]	Součinitel rotačních součástí
a	[m·s ⁻¹]	Zrychlení
O_z	[N]	Odpor zrychlení
O_s	[N]	Odpor stoupání
F_k	[N]	Celková hnací síla
v_k	[m·s ⁻¹]	Rychlost při jízdě do kopce
P_k	[kW]	Hnací výkon

Příloha 1 – Renderovaný obrázek koncepčního návrhu vozidla SxS

